

BIBLIOTHÈQUE INDUSTRIELLE.

SCIENCES.

BIBLIOTHÈQUE INDUSTRIELLE.

SCIENCES.

A Bruxelles, chez Berthot, libraire.
Marseille, — Mossy, imprimeur-libraire.
Nantes, — Mellinet-Malassis, imprimeur-libraire.
Rouen, — Frère, libraire.
Clermont, — Veysset, libraire.
Nismes, — Gaude, libraire.

IMPRIMERIE DE GUIRAUDET,
RUE SAINT-HONORÉ, N° 315.

HISTOIRE DESCRIPTIVE

DE LA

MACHINE A VAPEUR,

TRADUITE DE L'ANGLAIS

DE R. STUART,

PRÉCÉDÉE D'UNE INTRODUCTION

EXPOSANT

LA THÉORIE DES VAPEURS;

SUIVIE DE LA

DESCRIPTION DES PERFECTIONNEMENTS FAITS EN FRANCE,
ET DES CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR
L'EMPLOI DE CES MACHINES.



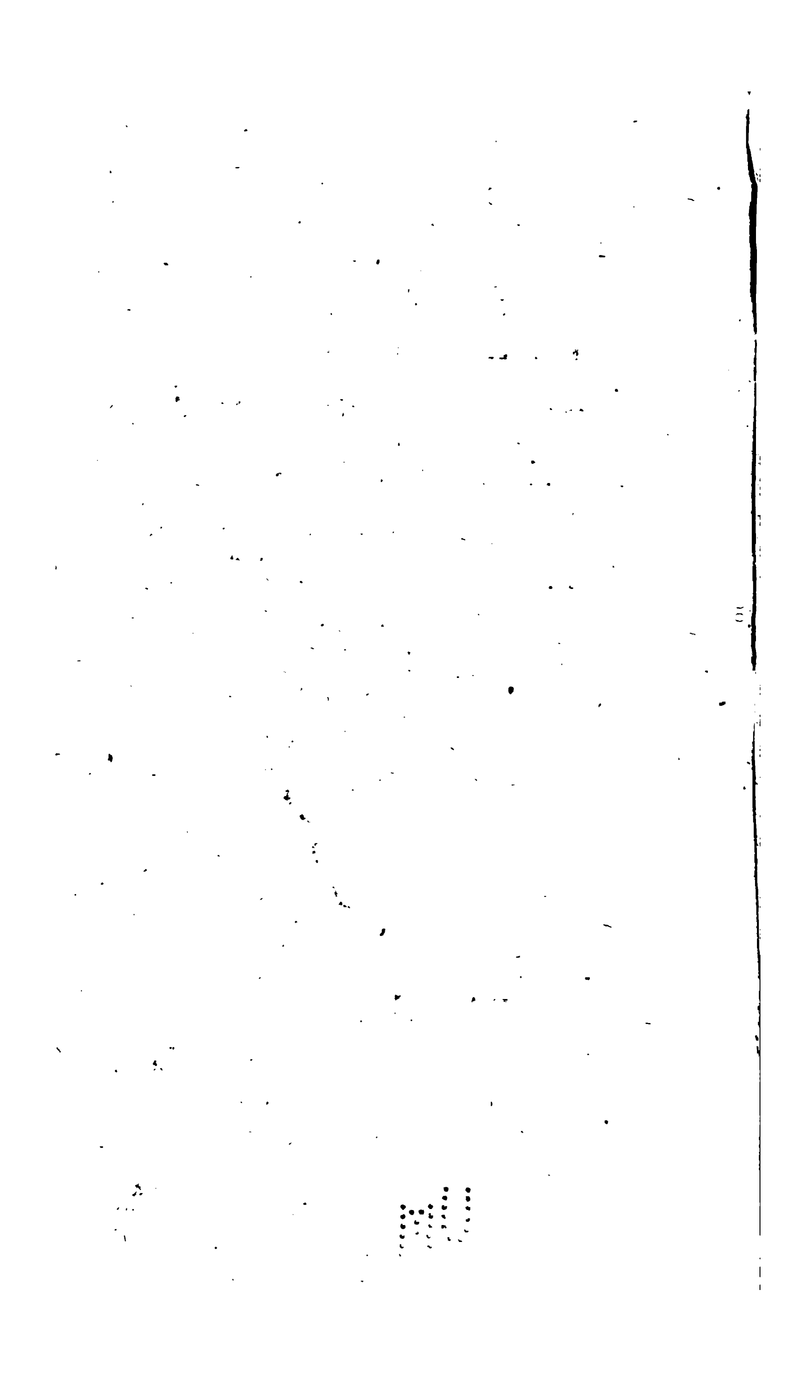
PARIS,

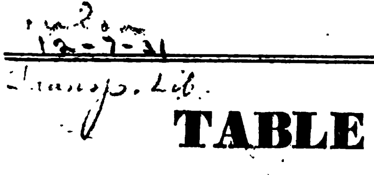
A LA LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE ET INDUSTRIELLE,

MALHER ET COMPAGNIE,

PASSAGE DAUPHINE.

1827.





TABLE

DES MATIÈRES.

APPENDICE.

OBSERVATIONS
DE L'ÉDITEUR.

La description historique des machines à vapeur de Robert Stuart a déjà eu, en Angleterre, trois éditions. Ce succès dans un pays où les machines à vapeur sont si communes et si multipliées, où par conséquent on doit si bien juger les livres qui traitent de cette matière, est un sûr garant de la bonté de cet ouvrage.

La traduction que nous offrons au public a été faite sur la troisième édition.

Dans cette traduction, nous avous cru devoir supprimer la description de quelques machines anciennes qui sont mises en mouvement par l'air échauffé, attendu que ce moteur est étranger à celui dont l'histoire est le but de cet ouvrage, et parce que plu-

sieurs de ces appareils ne nous ont pas semblé pouvoir fonctionner.

Nous avons quelquefois mis des notes au texte anglais, pour faciliter l'intelligence des objets décrits. Quelques descriptions sont cependant restées un peu obscures. Malgré tous nos efforts, nous n'avons pu nous procurer d'autres détails sur ces machines que ceux donnés par Stuart d'une manière incomplète. Nous n'avons pas cru devoir retrancher entièrement ces passages peu nombreux du texte, qui, d'ailleurs, suffira pour donner une idée générale du mécanisme, s'il n'indique pas d'une manière bien précise tous les détails d'exécution.

Pour mettre cet ouvrage à la portée des personnes qui n'ont aucune notion sur la nature et les propriétés de la vapeur, nous avons placé en tête de l'ouvrage de M. Stuart une introduction qui contient un précis de la théorie de ce fluide ; enfin,

pour rendre ce traité complet, nous l'avons terminé par un chapitre renfermant les découvertes faites depuis l'année 1825, époque de la publication de la troisième édition de l'ouvrage de M. Stuart, et quelques considérations générales sur les parties les plus importantes de la machine à vapeur et l'application de ce moteur.

—

PRÉFACE
DE L'AUTEUR ANGLAIS.

Les progrès étonnants que la mécanique et toutes les branches de l'industrie ont faits en Angleterre pendant les trente années qui viennent de s'écouler peuvent être regardés comme le résultat des perfectionnements apportés à la machine à vapeur, généralement adoptée aujourd'hui partout où l'on a besoin d'une force motrice : aussi, tout ce qui a rapport à la construction et à l'histoire de ce magnifique mécanisme acquiert un intérêt et une importance toujours croissants.

Depuis long-temps le public est en possession de plusieurs bons traités, dont chacun contient la description d'un certain nombre de machines à vapeur; mais dans aucun l'auteur ne s'est proposé de faire une histoire générale des progrès de cette précieuse découverte.

C'est pour remplir cette lacune que nous

avons entrepris l'ouvrage que nous offrons au public. Nous avons pensé que les constructeurs de machines à vapeur, que les manufacturiers qui en font usage, et qui apprécient toute leur importance, accueilleraient avec intérêt une histoire de cette belle invention. Les hommes du monde eux-mêmes nous sauront gré de les avoir mis à même de satisfaire leur curiosité relativement à la manière dont cette découverte a été faite et aux modifications qu'elle a éprouvées. En effet, parmi les hommes livrés à des travaux manuels nécessaires au soutien de leur existence, ou occupés de spéculations commerciales, un bien petit nombre trouveraient le temps de consulter les nombreux volumes dans lesquels sont épars les faits que nous avons rassemblés, alors même que les dépenses auxquelles entraînent nécessairement des recherches de cette nature ne seraient pas un obstacle plus puissant encore que le manque de temps.

Dans un traité dont le sujet est si varié, et qui est surtout destiné aux mécaniciens, nous avons dû nous borner souvent à donner les traits caractéristiques de chaque système de machine, en omettant d'entrer dans un examen détaillé toutes les fois que la machine à décrire avait de la ressemblance avec quelque ma-

chine précédemment décrite, ou que son action et son utilité pouvait s'expliquer par ce qui avait été déjà dit. Nous en avons agi quelquefois de même relativement aux figures. Les praticiens ne trouveront pas mauvais que nous ayons omis de répéter des choses simples, et les autres lecteurs, quels qu'ils soient, en jetant les yeux sur les planches, suppléeront facilement à ce qui a été passé sous silence. Au surplus, la seule inspection de la figure donnera, en général, une idée plus nette du jeu de la machine que ne le ferait la plus ample démonstration. En fait de mécanique, un simple dessin au trait fait mieux comprendre que plusieurs pages d'explication. C'est dans cette persuasion que nous avons multiplié les figures. Quelques unes sont destinées à donner une idée de l'état des machines à vapeur à diverses époques; d'autres ont pour but de faire connaître leur mécanisme.

Les mêmes raisons qui nous ont fait omettre la description des détails nous ont déterminé à exclure de cet ouvrage les dissertations purement théoriques. Ces dernières omissions ne sauraient d'ailleurs nous être reprochées, puisque les travaux que les savants ont exécutés sur cette branche de la mécanique n'ont produit aucun résultat pratique.

Hornblower disait, il y a vingt ans, que le plus simple artisan pouvait, sur ce point, servir de maître au plus habile mathématicien du monde : en effet, dans la construction et le jeu des machines à vapeur, il y a des cas où le simple instinct mécanique est plus utile que toute la science qui peut entrer dans une tête humaine. Cette observation est encore plus exacte et plus vraie aujourd'hui qu'alors.

Nous ignorons ce qui a pu donner lieu de faire cette remarque ; nous ne savons pas davantage quel est le savant qui le premier a revendiqué pour les théoriciens l'honneur d'avoir contribué au perfectionnement de la machine à vapeur, ou quel est celui qui a avancé que l'invention de cette machine était un des plus beaux présents que la science eût faits au genre humain ; mais il est bien avéré que ni la science ni les savants n'ont eu aucune part dans cette découverte. La force expansive de la vapeur n'était qu'une propriété curieuse pour les physiciens qui ont précédé Savery ; après lui elle est redevenue l'objet d'expériences purement amusantes, jusqu'à l'époque où Bossut, le dernier et le plus capable de ceux qui ont écrit sur ce sujet, en fit le but de quelques recherches spéculatives, et l'on peut assurer qu'il n'est pas de machine ni

de mécanisme où la faible coopération des théoriciens ait été plus inutile.

L'honneur d'avoir amené cette invention au degré de perfection où elle est maintenant appartient donc tout entier à une classe d'hommes toute différente et bien plus utile. Ce sont des ouvriers mécaniciens qui seuls ont inventé et perfectionné la machine à vapeur : Savery a commencé par être un ouvrier mineur; Newcomen était un serrurier, son associé Cawley un vitrier; don Ricardo Trevithick était un ouvrier mécanicien, et Watt, l'illustre Watt lui-même, à l'époque où il entreprit, et même long-temps après avoir achevé les grands perfectionnements qui ont rendu cette machine si utile, n'était qu'un faiseur d'instruments de physique. (1)

(1) Dans cette préface, l'auteur semble déprécier entièrement la théorie, et ne faire honneur qu'à la seule pratique de la découverte des machines à vapeur et de leur perfectionnement. Cette opinion, qui serait peu favorable à la science, exige un peu d'examen.

D'abord, qu'entend-on par *théories?* Suivant nous, il y en a de deux espèces, les théories mathématiques et les théories physiques. Les premières sont des conséquences rigoureuses d'un petit nombre de principes dont l'existence nécessaire est sentie par tous les esprits ; ces théories n'empruntent rien à l'expérience, elles la devancent toujours. Les théories physiques, au contraire, ont pour base

l'observation de certains phénomènes naturels dont on déduit des conséquences, ou dont on découvre les lois, pour remonter à leur cause par les théories mathématiques ou par le simple raisonnement. Ainsi, en physique, l'expérience, la pratique des faits, doit devancer leur théorie.

On conçoit d'après cela que, tant qu'il n'y a pas eu d'expériences faites sur les vapeurs, il n'y a pas pu avoir de théories; et que, par conséquent, il n'existait pas de théoriciens quand les premières machines à vapeur ont été imaginées, puisque la connaissance des propriétés physiques de la vapeur leur est postérieure.

Au surplus, la distinction faite par Stuart des praticiens et des théoriciens n'existe point lorsqu'il s'agit de recherches physiques: car la pratique est nécessaire pour trouver des données dans la nature, et la théorie pour en déduire des conséquences. Tous les hommes de génie auxquels on doit de grandes découvertes étaient à la fois praticiens et théoriciens: seulement praticiens, ils n'auraient rien vu au-delà de ce que l'expérience leur indiquait; et s'ils n'avaient pas consulté l'expérience, ils n'auraient créé que des systèmes. (*Note de l'Edit.*)

INTRODUCTION.

THÉORIE ÉLÉMENTAIRE DES VAPEURS.

Nous n'avons pas le projet de donner ici une théorie complète des vapeurs: notre but est seulement d'en tracer les principales propriétés, de manière à rendre intelligible pour tous les lecteurs l'histoire des machines à vapeur. Ainsi nous nous bornerons le plus souvent à énoncer le résultat des observations faites, sans décrire la manière de les faire: ce ne serait qu'autant que le mode d'observation n'exigerait que peu de détails que nous nous permettrions de le développer.

Nous examinerons successivement la formation des vapeurs en général, dans le vide, dans les gaz, l'absorption de chaleur produite par la vaporisation, et le retour des vapeurs à l'état liquide.

Formation des vapeurs.

Lorsque des liquides se trouvent exposés à l'air ou dans un espace vide, qu'ils sont soumis à l'action d'un foyer de chaleur, ou abandonnés à la température ordinaire, ils se dissipent sous la forme de

gaz invisibles, qu'on a désignés sous le nom de vapeurs.

Les vapeurs d'un même liquide qui se forment dans ces diverses circonstances ne diffèrent que par leurs forces élastiques. Ainsi les vapeurs qui se produisent lentement par la dessication des matières humides sont de même nature que celles qui se dégagent tumultueusement pendant l'ébullition. Cependant, dans le premier cas, les vapeurs sont invisibles; et dans le second, elles apparaissent sous la forme de brouillard. Mais cette différence d'aspect n'existe point réellement à l'instant de leur émission : car les vapeurs formées par l'action de la chaleur ne deviennent visibles que parce qu'elles se condensent, du moins en partie, par leur contact avec l'air froid.

Formation des vapeurs dans un espace vide.

Prenons un tube droit de 35 à 40 pouces de hauteur, fermé par une extrémité et ouvert par l'autre; remplissons ce tube de mercure, et après l'avoir fermé avec le doigt, renversons-le dans une cuvette pleine du même métal : ce sera un véritable baromètre, et le mercure se maintiendra dans le tube à une hauteur d'environ 28 pouces, ou $0^{m},76$ au-dessus du niveau du mercure dans la cuvette; la portion de la capacité du tube située au-dessus du mercure, qu'on nomme chambre du baromètre, sera complétement vide. Si après cela on

introduit une certaine quantité de liquide au-dessous du tube, il montera à travers le mercure et arrivera bientôt dans la chambre barométrique.

On observe alors 1° qu'à l'instant précis où le liquide arrive au-dessus du mercure, ce métal descend d'une certaine quantité constante pour le même liquide et la même température, quelle que soit d'ailleurs l'étendue de la chambre barométrique et la quantité du liquide introduit, pourvu que cette quantité soit en excès; 2° qu'en enfonçant le tube dans la cuvette, ce qui tend à diminuer l'étendue de la chambre, et par conséquent à comprimer la vapeur qui s'est formée, une partie de celle-ci se condense, et l'abaissement du mercure reste constant; 3° que, si on relève le baromètre, opération qui augmente l'étendue de la chambre barométrique, et qui par conséquent tend à dilater la vapeur, la dépression du mercure reste encore la même; 4° que, si on n'avait pas introduit un excès de liquide à mesure que l'on augmenterait l'étendue de l'espace dans lequel la vapeur s'est formée, elle se dilaterait comme un gaz, et l'abaissement du mercure serait en raison inverse du volume ou proportionnel à la densité de la vapeur.

Il résulte de ces observations qu'un liquide en contact avec un espace vide émet instantanément toute la vapeur qui peut se former; que la quantité de cette vapeur est proportionnelle à l'étendue de l'espace vide; que sa force élastique est indé-

pendante de la plus ou moins grande étendue de l'espace dans lequel elle se développe; que la vapeur sur un excès de liquide n'augmente ni ne diminue de force élastique par la diminution ou l'augmentation de l'espace qu'elle occupe : dans le premier cas une partie de la vapeur retourne à l'état liquide; dans le second, le liquide en excès fournit de nouvelles vapeurs.

Mais si l'espace vide n'est point saturé, et n'est point par conséquent en présence d'un excès de liquide, à mesure qu'on augmentera cet espace, la vapeur se dilatera, et sa force élastique suivra la loi de sa densité. Si au contraire on diminue cet espace, la vapeur se comprime et augmente de densité et de force élastique; mais cet effet n'a pas lieu indéfiniment, car lorsque la vapeur a acquis la densité et par conséquent la tension de celle qui se serait formée sur un excès de liquide, ou, en d'autres termes, lorsque l'espace est saturé, une plus grande compression forcerait une partie de la vapeur à se liquéfier, et la pression resterait constante. En résumé, les vapeurs dans le vide sur un excès liquide ne peuvent ni se comprimer ni se dilater; les vapeurs non saturées peuvent se dilater indéfiniment, mais ne peuvent se comprimer que jusqu'à la saturation de l'espace (1), et ces

(1) Dans ce qui précède nous n'avons point eu égard au froid produit par la dilatation et à la chaleur émise par la

dilatations et ces condensations suivent les mêmes lois que le gaz ; c'est-à-dire que les pressions correspondantes sont en raison inverse du volume occupé par la vapeur.

Examinons maintenant quelle est l'influence de la température sur l'émission des vapeurs dans le vide. Pour cela on peut encore se servir de l'appareil que nous avons décrit, en enveloppant le baromètre d'un tube de verre que l'on remplirait d'eau à différentes températures. On a reconnu ainsi que les vapeurs se dilataient, et que leur force élastique croissait avec la température et de la même manière que pour les gaz, lorsqu'il n'y avait pas un excès de liquide. Or, d'après les belles expériences de M. Gay-Lussac, la dilatation d'un gaz est de 0,00375 de son volume à la température de zéro pour chaque degré du thermomètre centigrade : par conséquent cette loi est exactement applicable aux vapeurs non saturées. Mais si la vapeur se trouve en contact avec un excès de liquide, la force élastique croît avec une bien plus grande rapidité : par exemple, la force élastique de la vapeur d'eau,

compression, et surtout par la liquéfaction d'une partie de la vapeur. Cette chaleur, absorbée ou émise, a cependant une grande influence sur la force élastique de la vapeur. Mais tout ce qui précède sera rigoureusement exact, si on suppose que les opérations se font avec assez de lenteur pour que la température ne change pas sensiblement, ou si, après chacune d'elles, on attend que l'équilibre de température se soit établi.

dans cette circonstance, croît de zéro à 100° dans le rapport de 1 à 160, tandis que dans les mêmes limites la vapeur non saturée n'augmenterait de tension, comme nous venons de le dire, que dans le rapport de 1 à 1,375.

Dalton, savant physicien de Manchester, à qui on doit presque tout ce que nous venons de dire sur les vapeurs, a reconnu que la force élastique de la vapeur saturée, à une température parfaitement égale à celle de l'ébullition du liquide dans l'air, abaissait le mercure du baromètre au niveau du mercure dans la cuvette, ce qui indique qu'à cette température la tension de la vapeur est égale à celle de l'atmosphère. D'après cela, nous pouvons définir l'ébullition, la température à laquelle la force élastique de la vapeur fait équilibre à la pression atmosphérique.

Le même physicien a cherché suivant quelle loi les forces élastiques des vapeurs saturées croissaient avec la température. En faisant varier cette température jusqu'à celle où la force élastique des vapeurs était égale au poids de l'atmosphère, il a trouvé cette loi remarquable : Tous les liquides forment des vapeurs qui ont la même force élastique à des températures également éloignées de celles de leur ébullition. Par exemple, l'eau bout à 100°, l'alcohol à 78°. A ces températures, les forces élastique de leurs vapeurs sont égales entre elles et à la pression atmosphérique, comme nous avons vu plus

haut; et en vertu de la loi de Dalton, la force élastique de la vapeur d'eau à 90° est égale à celle de l'alcohol à 68°, etc. On voit d'après cela que la force élastique des vapeurs émises par différents liquides à la température ordinaire est d'autant plus faible que ces liquides entrent en ébullition à une température plus élevée. Ainsi, le mercure, qui bout à 400°, donne à zéro des vapeurs dont la tension est égale à celle de la vapeur d'eau à 300° au-dessous de zéro.

Il résulte de la loi que nous venons d'énoncer que, pour connaître les forces élastiques des vapeurs formées par les liquides, il suffit d'avoir 1° une table qui donne les forces élastiques des vapeurs fournies par un seul liquide pour chaque degré du thermomètre, 2° une table qui fasse connaître la température à laquelle les autres liquides entrent en ébullition.

Nous devons cependant dire que la loi de Dalton n'est point rigoureusement exacte : des expériences récentes, faites par plusieurs habiles physiciens, ne laissent aucun doute à cet égard ; mais on peut la regarder comme une approximation presque toujours suffisante.

Formation des vapeurs dans les gaz.

Pour observer les mélanges de vapeur et de gaz, on se sert d'un grand ballon de verre dans lequel se trouve un baromètre, un tuyau à robinet pour

y faire le vide et introduire le gaz sur lequel on veut opérer, et un petit entonnoir, garni d'un robinet, dont la clef renferme une petite cavité destinée à introduire dans le ballon le liquide qui doit fournir les vapeurs, sans cependant faire communiquer sa capacité intérieure avec l'air. Cet appareil porte le nom de manomètre; on le place dans un bain à la température convenable.

Dalton a reconnu par ce procédé 1° que les vapeurs qui se développent dans les gaz ne saturent pas instantanément l'espace occupé par le gaz, car il s'écoule un certain temps entre l'instant où le liquide est introduit et celui où le baromètre, devenant stationnaire, indique qu'il ne se forme plus de vapeurs; 2° que la force élastique d'un mélange de gaz et de vapeurs est égale à la force élastique du gaz, plus celle de la vapeur qui se développerait dans le vide à la même température; 3° que la quantité de vapeurs qui se forme dans un gaz est égale à celle qui se formerait dans un même espace vide à la même température.

Il en résulte que les vapeurs se développent dans les gaz comme dans le vide, seulement les gaz opposent à l'évaporation un obstacle mécanique qui la retarde; que les vapeurs qui pénètrent les gaz ne supportent point la pression à laquelle est soumis le gaz dans lequel elles sont disséminées; du moins cette pression ne les fait point repasser à l'état liquide, comme elle le ferait si les vapeurs

étaient dans un espace vide ; enfin, que la vapeur se loge dans les gaz comme dans un espace vide de même volume et à la même température.

Densité des vapeurs.

La connaissance de la densité des vapeurs est d'une très-haute importance dans les arts. Mais cette recherche présentait de grandes difficultés : M. Gay Lussac a résolu le problème d'une manière fort ingénieuse en le renversant. Il s'est proposé de déterminer le volume de vapeurs que pouvait produire, à la température de son ébullition, un volume donné de liquide. Nous ne décrirons point les procédés employés par ce célèbre physicien ; nous nous contenterons d'indiquer les résultats auxquels il est parvenu pour la vapeur d'eau.

M. Gay-Lussac a trouvé qu'un centimètre cube d'eau pure produit $1^l,6964$ (1696 centimètres cubes) de vapeur à 100 degrés, et sous la pression ordinaire de l'atmosphère, c'est-à-dire 28 pouces de mercure, ou $0^m,76$. Ainsi, la densité de la vapeur d'eau est à celle de l'eau comme 1 est à 1696 ; et comme 1 litre d'eau pèse 1000 grammes, 1 litre de vapeur pèse $\frac{1000}{1696}$ g ou $\frac{1}{1,696}$ g. On peut facilement, d'après ce résultat, comparer le poids de la vapeur à celui de l'air : car on sait qu'un litre d'air sous la pression ordinaire et à la température de 100° pèse $\frac{1}{1,0577}$ g. Le poids de la vapeur est donc à celui de l'air comme 1,0577 est à 1,6964, ou

à peu près comme 10 est à 16. Quant à la densité des vapeurs qui se forment sous des pressions plus grandes que celles de l'atmosphère, et par conséquent à des températures supérieurs à 100°, il paraît qu'elles sont proportionnelles à leur force élastique.

Influence de la pression sur la température de l'ébullition.

Nous avons dit que la température de l'ébullition était celle à laquelle la force élastique des vapeurs qui se formaient pouvait soulever le poids de l'atmosphère. Il résulte de là que la température à laquelle ce phénomène se manifeste dépend de l'état du baromètre. Mais comme les variations de pression dans un même lieu sont très peu considérables, elles n'ont qu'une très faible influence sur la température de l'ébullition des liquides : ce n'est qu'autant qu'on s'élève à de très grandes hauteurs au-dessus de la terre que l'on obtient des variations sensibles. Mais on peut artificiellement faire varier la force élastique de l'air qui presse sur un liquide renfermé dans un vase; et comme ces variations peuvent avoir lieu dans des limites fort étendues, on fait naître l'ébullition à des températures très éloignées. Par exemple, si, au moyen d'une machine pneumatique, on raréfie l'air situé dans un vase qui renferme de l'eau, cette dernière pourra entrer en ébullition au-dessous de 30°. L'al-

cohol, l'éther, entreront en ébullition à la température ordinaire. Si, au contraire, on augmente la densité de l'air situé au-dessus d'un liquide, en le comprimant avec une pompe foulante, l'ébullition ne pourra s'établir qu'à une température supérieure à celle de l'ébullition dans l'atmosphère. On peut parvenir à ce dernier résultat par un moyen beaucoup plus simple. En effet, si on soumet à l'action de la chaleur un vase hermétiquement fermé, renfermant une certaine quantité de liquide, les vapeurs qui se formeront à mesure que le liquide s'échauffera s'accumuleront au-dessus du liquide, et y formeront une atmosphère artificielle, dont la pression toujours croissante, à mesure que la température s'élèvera, empêchera l'ébullition de se manifester. Si l'on voulait que l'ébullition se produisît à une température déterminée, il suffirait de pratiquer à la surface supérieure du vase une ouverture que l'on fermerait avec une plaque chargée d'un poids équivalent à la pression que la vapeur exercerait contre cette portion de la paroi à la température que l'on ne voudrait pas dépasser : car une fois que l'on aurait atteint cette limite, la vapeur soulèverait la soupape, et son écoulement deviendrait continu. On obtiendrait alors l'ébullition à une température d'autant plus élevée que la charge de la soupape serait plus considérable.

Si le vase était complétement fermé, quelle que

fût d'ailleurs sa résistance, la température s'élèverait infailliblement à un point tel, que le vase ne pourrait pas résister à la force élastique de la vapeur; il serait brisé avec explosion, et ses fragments seraient lancés au loin avec une grande force. On voit, d'après cela, combien il est important de garnir de soupapes de sûreté les chaudières à vapeurs.

Nous avons dit que, quand on échauffait un liquide renfermé dans un vase clos, la vapeur qui s'accumulait retardait continuellement l'ébullition; mais ce retard n'a lieu que jusqu'à une certaine température, à laquelle toute la masse se transforme en vapeurs. Ce fait remarquable a été constaté par M. Cagniard de la Tour. Les expériences ont eu lieu dans des tubes de verres fermés à la lampe d'émailleur. Ce physicien a reconnu, par une série d'expériences faites avec beaucoup de soin, 1° que l'éther se vaporisait complétement en vase clos, à une température de 150°, dans un espace moindre que le double de son volume, et produisait une pression de 70 atmosphères; 2° que le sulfure de carbone se vaporisait à 210°, en produisant une pression de 37 atmosphères; 3° que l'alcohol et l'eau présentaient les mêmes phénomènes. La température du changement d'état n'a point été déterminée; mais le premier de ces liquides produisait une pression de 119 atmosphères, en se vaporisant dans un espace à peu près de trois

fois plus grand; et le second a presque toujours brisé les tubes dans lesquels il a été vaporisé, de sorte qu'il a été impossible de mesurer la pression que la vaporisation complète de l'eau a produite.

Dans ce qui précède nous avons examiné la formation des vapeurs dans toutes les circonstances; mais nous n'avons point eu égard à la quantité de chaleur absorbée. Comme c'est un objet important, surtout dans l'emploi de la vapeur comme force motrice, nous entrerons à cet égard dans tous les détails nécessaires.

Absorption de chaleur par la vaporisation.

Lorsqu'un liquide est abandonné à l'air, sa vaporisation lente est uniquement due à la tension du liquide, et la quantité de vapeurs formée dépend à la fois de la température du liquide, de celle de l'air et de la quantité de vapeurs déjà existante dans l'air. Si l'air est saturé de vapeurs, et si sa température est égale à celle du liquide, l'évaporation n'a point lieu; mais dans toute autre circonstance elle se manifeste avec plus ou moins d'activité, et comme la vapeur n'est autre chose que de l'eau dissoute dans le calorique, la vaporisation ne peut se faire qu'autant que le liquide lui-même, les corps environnants et l'air fournissent la chaleur nécessaire; et par conséquent leur température doit s'abaisser continuellement. Un grand nombre d'expériences viennent à l'appui

de cette conséquence. Lorsque l'on met sur la main un liquide très volatil, on éprouve une sensation de froid très marquée. Lorsqu'on environne la boule d'un thermomètre d'une petite éponge ou d'amadou imbibé d'un liquide volatil, le thermomètre descend d'un grand nombre de degrés; le refroidissement serait encore bien plus considérable si l'instrument était placé sous le récipient d'une machine pneumatique duquel on absorberait continuellement les vapeurs, parce que dans le même temps il s'en formerait une bien plus grande quantité; on obtiendrait le même effet en plaçant le thermomètre dans un courant d'air, ou en le fixant à l'extrémité d'une fronde que l'on ferait tourner rapidement. Le procédé usité en Égypte et en Espagne pour rafraîchir l'eau est fondé sur le même principe: on emploie des vases poreux, à travers lesquels l'eau suinte lentement, et présente à l'extrémité une grande surface humide qui facilite son évaporation aux dépens de la température du vase et de l'eau qu'il renferme. On obtient le même résultat en exposant à l'air des vases métalliques pleins d'eau et recouverts de linges mouillés. Le refroidissement serait encore beaucoup plus rapide en plaçant les vases dans un courant d'air, ou en les attachant à une machine qui se meut avec rapidité, comme l'aile d'un moulin à vent. Nous terminerons l'énumération des faits qui constatent l'absorption de chaleur due à

l'évaporation, en rapportant la belle expérience de M. Leslie, dans laquelle ce célèbre physicien est parvenu à congeler l'eau par le refroidissement provenant de l'évaporation spontanée. L'appareil de M. Leslie consiste en une large capsule de verre ou de porcelaine remplie d'acide sulfurique concentré ; au-dessus se trouve une capsule métallique très plate, pleine d'eau et soutenue par trois pieds qui s'appuient contre les bords de la capsule pleine d'acide ; l'appareil est placé sous le récipient d'une bonne machine pneumatique dans lequel on fait le vide ; l'acide sulfurique, ayant une très grande affinité pour l'eau, s'empare de la vapeur à mesure qu'elle se forme, de sorte que, l'émission de vapeur étant presque aussi rapide que si l'espace vide était indéfini, dans un temps très court l'abaissement de température de l'eau est suffisant pour la congeler. M. Gay-Lussac est même parvenu par ce moyen à congeler le mercure, en entourant d'un mélange frigorifique l'appareil dans lequel la vapeur aqueuse était produite et absorbée.

Lorsqu'on soumet à l'action de la chaleur un liquide renfermé dans un vase ouvert, le liquide s'échauffe, émet une quantité de vapeurs qui croît à mesure que la température augmente ; cette vapeur ne se forme plus alors que par la chaleur émanée du foyer. Si cette quantité de chaleur est suffisante, le liquide arrive bientôt à la température de l'ébullition, et alors sa température reste

constante jusqu'à ce que tout le liquide soit vaporisé. Ainsi à cette époque toute la chaleur envoyée par le foyer est employée à former de la vapeur.

Mais, si le foyer est très petit, relativement à la masse liquide et à sa surface libre, le liquide n'arrive point à l'ébullition ; sa température reste stationnaire à une température inférieure. Ce fait, que l'on a souvent l'occasion de reconnaître, provient de ce que l'évaporation qui se fait continuellement à la surface du liquide, à mesure qu'il s'échauffe, est proportionnelle à la surface libre du liquide et à sa température ; or cette évaporation enlève du liquide une quantité croissante de chaleur : par conséquent, on conçoit facilement que, si la surface libre du liquide est très grande, relativement à la quantité de combustible qui se brûle dans le foyer, il arrivera une époque à laquelle la quantité de chaleur emportée par l'évaporation sera égale à celle qui est reçue par le foyer ; à cet instant la température de l'eau ne pourra plus augmenter, et cette température pourra être plus ou moins au-dessous de celle de l'ébullition.

Lorsqu'on soumet à l'action de la chaleur un liquide renfermé dans un vase clos, d'où la vapeur ne peut s'échapper qu'en soulevant une soupape pressée par un certain poids, l'eau s'échauffe au-delà du terme de son ébullition dans l'air ; et lorsque la force élastique de la vapeur peut supporter le poids de l'atmosphère, plus celui de la soupape,

l'ébullition se développe et la température de l'eau reste stationnaire. Mais il est plusieurs circonstances dans lesquelles elle peut s'élever encore. Si, par exemple, on active davantage le feu et que l'issue donnée à la vapeur ne soit pas suffisante, cette augmentation de vitesse qu'elle doit acquérir exigera une augmentation correspondante dans la pression de la vapeur qui est au-dessus du liquide, et par conséquent une élévation dans la température du liquide. Le même effet peut être produit sans que le foyer soit augmenté, si la vapeur ne peut pas se dégager en proportion de sa formation : l'excès de vapeur reste dans l'appareil, et sa forme élastique augmente continuellement.

Dans toutes ces diverses circonstances d'évaporation par la chaleur, nous avons dit que la chaleur nécessaire à la production des vapeurs était uniquement fournie par le combustible. Des expériences multipliées ont démontré que la quantité de chaleur nécessaire pour évaporer le même poids de liquide était exactement la même, à quelque température que fût le liquide. Ainsi, il faut la même quantité de chaleur pour réduire 1^{k} d'eau en vapeur, soit par une évaporation lente, soit à la température de l'ébullition, soit dans un vase clos dont l'ouverture de dégagement est fermée par un poids quelconque; et, comme un même combustible en brûlant ne peut dégager qu'une quantité limitée de chaleur, il s'ensuit qu'il faut

toujours la même quantité de combustible pour évaporer le même poids d'un liquide, quelle que soit d'ailleurs la température à laquelle la vaporisation ait lieu.

La quantité de vapeurs formée dans un temps donné ne dépend pas uniquement de celle du combustible brûlé dans le foyer : il faut encore que la surface de la chaudière qui reçoit l'action du feu soit proportionnée à la quantité de chaleur qu'elle doit transmettre au liquide, car la quantité de chaleur qui passe à travers les parois de la chaudière est proportionnelle à sa surface. On a trouvé, par expérience, qu'un mètre carré de cuivre exposé à l'action d'un foyer le plus violent pouvait, dans une heure, transmettre une quantité de chaleur capable de réduire en vapeur 100^k d'eau; mais, dans la pratique, on compte de 20 à 30^k de vapeur formée par mettre carré de surface de chaudière, et une consommation correspondante de 6 à 7^k de chaleur; si on en brûlait davantage, une grande partie de la chaleur développée par cet excédant de combustible ne passerait pas dans l'eau.

Ainsi, la quantité de chaleur absorbée par la vaporisation d'un même poids d'eau est constante. On a trouvé qu'elle était égale à celle qui serait nécessaire pour élever de la température de la glace fondante à celle de l'ébullition six fois et demie le même poids d'eau, c'est-à-dire que la

chaleur nécessaire pour évaporer 1^k d'eau éleverait $6^k,5$ d'eau de $0°$ à $100°$.

Tels sont les phénomènes les plus importants que présente le développement des vapeurs dans les diverses circonstances où elles peuvent se former. Examinons maintenant le retour des vapeurs à l'état liquide, qu'on désigne ordinairement sous le nom de condensation.

Condensation des vapeurs.

Lorsqu'un espace ne renfermant point d'air est rempli de vapeurs saturées, cette vapeur exerce contre toutes les parois de cet espace une pression égale à sa force élastique. Cette quantité de vapeur peut être successivement condensée, en diminuant graduellement l'espace qu'elle occupe; mais la vapeur restante conserverait toujours la même force; il faut même, pour qu'elle n'augmente pas, que la diminution de volume ait lieu très lentement : car la vapeur, en se liquéfiant, remet en liberté toute la chaleur qu'elle avait absorbée en se formant, et cette chaleur doit nécessairement élever la température de la vapeur qui reste, à moins que l'opération ne se fasse avec assez de lenteur pour que cet excès de chaleur se dissipe à mesure qu'il se produit.

On peut encore faire retourner la vapeur à l'état liquide en abaissant sa température: dans ce cas, la force élastique de la vapeur non condensée di-

minue, et à chaque instant elle est égale à celle qui se formerait au-dessus d'un liquide qui aurait la même température. Par exemple, si la vapeur a 100°, sa force élastique sera égale au poids de l'atmosphère : elle fera par conséquent équilibre au poids d'une colonne de mercure de 0m,76; mais si on la refroidit à 30°, la vapeur qui resterait ne sera plus capable que de soutenir une pression de 0m,03. Il suit de là que par le refroidissement on ne peut jamais anéantir complétement la vapeur, ni par conséquent sa force élastique : car, l'eau ayant une tension à toutes les températures, la glace même formant des vapeurs, après le refroidissement il restera toujours une quantité de vapeur correspondante à la nouvelle température; mais lorsque cette dernière est peu élevée, la tension que conserve la vapeur est très petite.

Lorsque de la vapeur est renfermée dans un vase, on peut la refroidir et par conséquent la condenser par deux moyens différents. On peut environner le vase d'un corps plus froid qui absorbe lentement la chaleur à travers les parois du vase. On peut aussi injecter dans le vase un corps liquide. Le premier moyen est employé lorsqu'on veut recueillir le liquide provenant des vapeurs condensées, comme dans les distilleries; le second l'est uniquement dans les machines à vapeur, parce que la condensation est très rapide : la quantité d'eau doit évidemment être d'autant plus grande

que l'on veut diminuer davantage la force de la vapeur.

Jusqu'à ces derniers temps on avait distingué les vapeurs des gaz. Les vapeurs, disait-on, sont des substances gazeuses qui se liquéfient par la pression ou le refroidissement. Les gaz proprement dits ne se condensent ni par la pression ni par le refroidissement. Mais un grand nombre de ces prétendus gaz permanents ont réellement été condensés par la pression ou par le refroidissement: tels sont l'acide carbonique, l'acide sulfureux, le chlore, etc.; et il est probable que, si tous ne l'ont pas été, cela tient à ce que la pression et le refroidissement n'ont pas été portés au degré suffisant. Il résulte de là que les gaz ne sont autre chose que des vapeurs non saturées, qui doivent se dilater par la chaleur, se contracter par le refroidissement et la pression, sans se liquéfier, tant que leur densité n'est pas telle que l'espace qu'ils occupent soit saturé.

Nous terminerons cet exposé succinct des propriétés les plus importantes des vapeurs par un tableau de la force élastique de la vapeur d'eau à différentes températures.

FORCE DE LA VAPEUR EXPRIMÉE EN PRESSION ATMOSPHÉRIQUE DE 0m,76 DE MERCURE.

TEMPERATURE Centigrade.	PRESSION en atmosphère.	TEMPERATURE Centigrade.	PRESSION en atmosphère.
100	1	195	20
122	2	197	21
135	3	198	22
144	4	200	23
151	5	201	24
157	6	202	25
162	7	203	26
166	8	204	27
170	9	206	28 à 29
173	10	207	30
176	11	208	31
179	12	209	32
182	13	210	33
184	14	211	34
186	15	212	35
188	16	213	36
190	17	214	37
192	18	215	38
194	19	216	[illegible]

HISTOIRE
DESCRIPTIVE
DE LA
MACHINE A VAPEUR.

Quoique la force élastique de la vapeur d'eau ait été probablement connue dès l'origine des sociétés, ce n'est qu'environ cent trente ans avant l'ère chrétienne qu'il est fait, pour la première fois, mention de ce fait dans l'histoire. Il paraît qu'à cette époque, un mécanicien grec employa la vapeur pour produire du mouvement.

MACHINE DE HÉRON. (FIG. I.)

Héron l'ancien, qui florissait à Alexandrie sous le règne de Ptolomée Philadelphe, se rendit célèbre dans ce siècle et dans cette patrie des lumières non seulement par son profond savoir dans tout ce qui a rapport à la connaissance des temps, mais aussi par le nombre et le caractère ingénieux de ses inventions mécaniques. Dans un de ses ouvrages, il déduit des propriétés du levier toutes les lois des forces mécaniques. Son traité intitulé *Spiritalia*

ou *Pneumatica* contient la première explication qui ait été donnée de la pompe foulante, et celle d'une fontaine qui porte encore son nom, dans laquelle l'eau s'élève en jet par suite de l'élasticité de l'air comprimé. Ce même ouvrage renferme, entre autres objets, la description de deux machines de son invention: dans l'une, c'est la dilatation de l'air échauffé qui produit le mouvement de rotation; dans l'autre, c'est un jet de vapeur qui s'échappe d'un vase rempli d'eau bouillante et traverse une sphère pouvant tourner sur deux pivots, qui communique à celle-ci le même mouvement de rotation.

Cette dernière machine se compose 1° d'une chaudière ou marmite *p*, munie d'un couvercle qui la ferme hermétiquement; un tuyau *o*, adapté par sa partie inférieure sur ce couvercle, s'élève verticalement, se recourbe à angle droit vers son extrémité, et pénètre dans un petit globe *x*, qu'il soutient en l'air avec l'aide d'un second tuyau *s* également recourbé à angle droit et fixé sur le couvercle à un point diamétralement opposé au point *o*; ce tuyau est terminé par un pivot *q*, sur lequel tourne le globe. Cette sphère porte deux tubes ou becs *z*, *w*, recourbés à leurs extrémités et ouverts. La vapeur provenant de l'eau bouillante renfermée dans la chaudière s'élève par le tuyau *o*, pénètre dans le globe *x*, et s'échappant ensuite par les tubes recourbés *z*, *w*,

fait tourner la sphère sur elle même (1), de sorte que le mouvement paraît lui être propre, dit le traité original, ou lui être donné par un esprit (2).

Cet appareil très simple, et qui n'a été donné que comme un amusement philosophique, est réellement curieux, en ce qu'il montre la manière employée dans l'origine pour faire servir la vapeur à produire du mouvement, et en ce qu'il reporte à

(1) La cause du mouvement est facile à concevoir. En effet, lorsque de l'air ou de la vapeur est renfermé dans un vase quelconque, il presse également contre toutes les parties de la paroi du vase. Si le vase est fermé de toute part, il n'en résulte aucun mouvement, parce que ces pressions se détruisent mutuellement; mais si on perce la paroi en un point quelconque, la pression exercée contre la portion de la paroi opposée, et qui était détruite par la résistance de la paroi enlevée, produira tout son effet, et le vase se mouvra en sens contraire du jet d'air ou de vapeur. Il est évident que, pour obtenir le *maximum* d'effet dans la machine en question, la direction des jets de vapeur doit être perpendiculaire à l'axe de rotation de la sphère. Si ces jets étaient dans un plan passant par l'axe de rotation, l'impulsion aurait lieu dans un sens où le mouvement ne serait pas possible. [*Note de l'Ed.*]

(2) Le *Spiritalia* fut publié pour la première fois par Commandine, en 1571. On l'a imprimé aussi dans la magnifique collection in-folio des *Œuvres des mathématiciens anciens*, publiée à Paris en 1693. Une traduction latine accompagne le texte grec. Les descriptions de cette machine et de celle que nous avons indiquée avant se trouvent à la page 22 de cette édition.

Héron l'honneur d'avoir inventé et construit *la première machine à vapeur connue* (1).

On ne trouve aucun autre indice de la vapeur employée comme moteur, dans les ouvrages des auteurs anciens, ni même dans ceux des écrivains modernes, jusqu'en l'an 1563. A cette époque, un certain Mathésius, dans un volume de sermons intitulé *Sarepta*, parle de la possibilité de construire un appareil dont l'action et les propriétés paraissent semblables à celles de la machine à vapeur moderne. Trente ans après, dans un livre imprimé à Leipsick en 1597, on trouve la description de ce qu'on appelle un éolipyle, que l'on peut, dit-on, utiliser en y adaptant un tournebroche.

ÉOLIPYLE, OU MACHINE ALLEMANDE. (Fig. II.)

On introduit dans le globe *x* une petite quantité d'eau, qui se résout en vapeur par l'effet du feu placé au-dessous. La vapeur sort par les becs *a* et *b*, et produit par sa réaction un mouvement de rotation continu.

(1) Une circonstance remarquable et qui mérite d'être citée, c'est que cette machine ait été reproduite depuis comme un perfectionnement de la mécanique moderne, d'abord par Kempel, Allemand, en 1785; ensuite par un sieur Sadler, d'Oxford, en 1791, qui obtint alors un brevet pour cette invention.

MACHINE DE DE CAUS. (FIG. III.)

Salomon de Caus, fameux ingénieur français et grand mathématicien, conçut en 1624 une machine mue par l'élasticité de la vapeur. C'est un vase sphérique *m m*, avec du feu dessous. Ce vase a deux ouvertures : par l'une d'elles passe un tuyeau *n*, ayant un robinet *o*, et un entonnoir *x*, qui fournit l'eau à la chaudière ; par l'autre passe un tuyau *a b*, qui descend dans l'eau jusqu'à toucher à peu près le fond du vase, et qui s'élève au-dessus de l'eau à une hauteur convenable. Pendant que l'eau *c* chauffe, dit de Caus, l'augmentation de la masse de vapeur oblige l'eau de monter dans le tuyau *a*, et la fait jaillir avec force par son extrémité *b*. De Caus avait aussi connaissance de la propriété qu'a la vapeur de pouvoir se résoudre en eau d'un poids égal à celui de l'eau qui l'avait produite ; mais il ignorait, à ce qu'il paraît, le moyen d'employer cette propriété pour augmenter l'effet de sa fontaine.

MACHINE DE BRANCA.

Giovanni Branca, mathématicien célèbre d'Italie, qui vivait à Rome au commencement du dix-septième siècle, fut le premier qui tenta d'appliquer en grand la puissance expansive de la vapeur à des objets utiles. La machine qu'il construisit

était un éolypile qui lançait la vapeur sur une roue horizontale, portant à sa circonférence des augets ou cellules, comme en ont les roues hydrauliques. L'action de la vapeur sur les parois de ces augets déterminait le mouvement de rotation qui était transmis, comme à l'ordinaire, au moyen de roues dentées placées sur l'axe de la grande roue, et faisait mouvoir des pilons employés à écraser des drogues (1).

C'est cette machine qui fait considérer Branca, par ses compatriotes, comme l'inventeur de la machine à vapeur; et même, dans un ouvrage anglais récemment publié sur cette matière, on lui attribue le mérite d'avoir eu l'idée première. Certainement Branca ne peut pas prétendre à cet honneur; sa machine ne saurait soutenir la comparaison pour le génie avec celle de Héron, ni avec celle de de Caus pour la force. Il y a plus : long-temps avant lui, Cardan avait donné la description du même mécanisme comme mis en mouvement par l'air échauffé, et l'idée du philosophe italien d'avoir substitué la vapeur de l'eau n'est pas assez nouvelle ni assez importante pour mériter à ce chan-

(1) L'explication que Branca donne lui-même de sa machine est consignée dans un volume in-folio qu'il dédia, en 1628, à M. Canci, gouverneur de Lorette, et qui fut publié à Rome, en 1629, sous le titre de *le Machine diverse del signor Giovanni Branca.*

gement le nom d'invention. Branca était, d'ailleurs, un homme d'un grand génie; et on a de lui beaucoup de machines qui prouvent sa capacité comme savant mécanicien et qui lui font le plus grand honneur.

L'ingénieux et savant évêque Wilkins est le premier auteur anglais qui parle de la possibilité de faire mouvoir une machine par la force élastique de la vapeur. Il dit, en parlant de donner l'impulsion au moyen de l'air ou du vent: « Les *éoli*-« *pyles* sont de leur nature assez propres à donner « cette impulsion. Les éolipyles sont des vases creux, « pouvant résister à l'action du feu, et percés d'un « petit trou par lequel l'on introduit l'eau qui doit « les remplir, et par où la vapeur s'échappe avec « une grande force et d'une manière continue, lors-« qu'on expose ces vaisseaux à l'action de la cha-« leur. On s'en sert ordinairement pour exciter et « concentrer la chaleur dans la fonte des verres ou « des métaux. On peut également les employer de « diverses manières, soit comme amusement, soit « pour enfler et pousser des voiles attachées à une « roue placée dans le coin d'une cheminée, au « moyen de laquelle on peut faire tourner un tour-« nebroche ou autre chose semblable. »

Voilà exactement l'application de Cardan, et la machine de Branca. Le passage dans son entier est fort curieux: car, d'après la manière dont l'évêque explique le mouvement des voiles, il sem-

blerait que ce procédé aurait été en usage en Angleterre à cette époque. Nous n'avons du reste aucun moyen de vérifier si ce procédé était en effet connu en Angleterre ou de l'évêque avant l'existence de celui de Branca, ou si on a copié cette machine sur le dessin de cet industrieux Italien.

MACHINE DU MARQUIS DE WORCESTER. (FIG. IV ET V.)

Le plus célèbre de tous ceux qui ont associé leurs noms à l'histoire de la machine à vapeur dans son enfance est un marquis de Worcester qui vivait sous le règne de Charles II. Cette célébrité paraîtra fort extraordinaire, si l'on se rappelle d'un côté le dédain avec lequel on accueillit de son vivant ses prétentions extravagantes à l'honneur de plusieurs découvertes, la brièveté étudiée, le vague et l'obscurité qu'il a mis dans les descriptions des machines sur lesquelles il fondait ses titres de gloire et ses demandes d'encouragement ; et de l'autre, en voyant cet hommage éclatant que notre siècle a décerné à son génie mécanique, hommage qui paraît être autant au-dessus de son mérite réel que l'injuste indifférence de ses contemporains était au-dessous de son talent.

Ses droits comme inventeur, au reste, ne reposant que sur le compte qu'il rend lui-même de l'*utilité* et des *merveilleuses propriétés* de ses inventions, c'est donc sur la réputation de loyauté et de

sincérité du marquis que nous devons mesurer la confiance que méritent ses propres assertions. Mais cette réputation, si l'esquisse qu'un contemporain a tracée du marquis ressemble à l'original, ne nous permet pas de croire un seul mot des explications mensongères consignées dans l'ouvrage intitulé *Century of inventions* (1).

Cet ouvrage, sur le mérite duquel l'auteur s'appuyait pour demander solennellement une récompense nationale, et que Walpole a qualifié avec raison d'œuvre de la folie, fut publié par le marquis lui-même sous le titre de *Century of the names*, etc. (Catalogue descriptif des noms de toutes les inventions que je puis me rappeler à présent d'avoir faites et perfectionnées, ayant perdu mes premières notes. — 1663.) Il portait deux dédicaces :

« (1) Le marquis de Worcester, dit Walpole, s'est montré « sous deux caractères bien différents, savoir, comme homme « public et comme auteur. Comme homme public, c'était un « homme de parti ardent ; et comme auteur, c'était un mé- « canicien original et fertile en projets chimériques ; mais il « était de bonne foi dans ses erreurs. Ayant été envoyé par « le roi en Irlande pour négocier avec les catholiques révoltés, « il dépassa ses instructions et leur en substitua de son fait, « que le roi désavoua, mais toutefois en le mettant à l'abri « des conséquences fâcheuses que pouvait avoir son infidé- « lité. Le roi, avec toute son affection pour le comte (il était « alors comte de Glamorgan), rappelle dans deux de ses « lettres son défaut de jugement. Peut-être Sa Majesté ai- « mait-elle à se confier à son indiscrétion, car le comte en

la première au roi Charles II, la seconde aux deux chambres du parlement. Dans cette seconde, il affirme avoir fait en présence du Roi toutes les expériences consignées dans son écrit. La soixante-huitième description est celle pour laquelle il s'attribue l'honneur d'avoir inventé la machine à vapeur. Voici comme il s'exprime :

« J'ai inventé un moyen aussi admirable que puissant pour élever l'eau par le moyen du feu, non pas avec le secours de la pompe, parce que celle-ci n'agit, selon l'expression des philosophes, que dans *une sphère d'activité* qui a très peu d'étendue ; au contraire cette nouvelle puissance n'a pas de bornes, si le vase est assez fort. J'ai pris, par exemple, une pièce de canon dont le bout était brisé, j'en ai rempli les trois quarts d'eau, j'ai

« avait une forte dose. Nous le voyons prêter serment sur
« serment au nonce du pape, avec promesse d'une obéissance
« illimitée à Sa Sainteté et à son légat ; nous le voyons en-
« suite demander cinq cents livres sterlings au clergé d'Ir-
« lande pour qu'il puisse s'embarquer et aller chercher une
« somme de cinquante mille livres sterlings, comme ferait
« un alchimiste qui demande une petite somme pour pro-
« curer le secret de faire de l'or. Dans une autre lettre il
« promet deux cent mille couronnes, dix mille armements
« de fantassins, deux mille caisses de pistolets, huit cents
« barils de poudre, et trente ou quarante bâtiments bien
« équipés ; et tout cela, au dire d'un contemporain, lors-
« qu'il n'avait pas un sou dans sa bourse, ni assez de
« poudre pour tirer un coup de fusil. »

bouché ensuite, et fermé, à l'aide de vis, le bout cassé ainsi que la lumière, et fait continuellement du feu sous ce canon : au bout de vingt-quatre heures il éclata avec un grand bruit. De sorte qu'ayant trouvé une manière de construire mes vases au moyen de laquelle ils se fortifient les uns les autres, et de les remplir l'un après l'autre, j'ai vu l'eau jaillir comme un jet continuel à quarante pieds de haut. Un vase d'eau raréfiée par le feu en fait monter quarante d'eau froide. L'homme qui surveille le jeu de la machine n'a qu'à tourner deux robinets, afin qu'un vase d'eau étant épuisé, l'autre commence à forcer et à se remplir d'eau froide, et ainsi de suite, le feu étant constamment alimenté et soutenu, ce qu'une même personne peut faire aisément dans l'intervalle de temps où elle n'est pas occupée à tourner ses robinets (1). »

Cette explication, de l'aveu du professeur Robison, trop embrouillée pour nous donner des no-

(1) Le *Century of inventions* fut publié pour la première fois in-12 en 1683. Il fut réimprimé en 1746 : on attribue cette édition à Desaguliers. Il en fut publié une autre édition à Glasgow, en 1767, après que M. Watt eut inventé sa machine. Une troisième réimpression porte la date de Londres, 1786. Une quatrième fut faite en 1813, par John Buddle : on a ajouté à celle-ci une relation historique de la machine à vapeur pour élever l'eau. L'ouvrage se trouve aussi tout entier dans le premier volume du *Répertoire des arts* (Repertory of arts), et dans le second volume de la troisième édition de *Gregory's mecanies*.

tions nettes de la structure et du jeu de sa machine, est cependant exacte d'un bout à l'autre, et s'accorde avec ce que nous savons sur cette matière. Mais le professeur ajoute, un peu plus loin, que l'explication donnée dans le *Century of inventions* ne saurait instruire que ceux qui connaissent assez les propriétés de la vapeur pour construire la machine eux-mêmes ; et cependant ce docteur dit encore dans le même traité que l'invention de la machine à vapeur appartient sans contredit au marquis de Worcester ! Si le docteur Robison n'avait pas entendu parler des machines de Héron, de de Caus, de Branca, il n'ignorait certainement pas du moins quel était le charlatanisme du marquis de Worcester, et l'absurdité de ses extravagantes prétentions (1).

Au léger changement près d'un tuyau placé au centre, substitué à deux tuyaux placés chacun à une extrémité, changement opéré par M. Milling-

(1) « C'était, à ce qu'il paraît, un homme savant, pro-
« fond et ingénieux ; mais ses descriptions, ou les relations
« de ses inventions, semblent faites plutôt pour étonner le
« public que pour l'instruire, et les éloges qu'il donne à
« leur utilité et à leur importance vont jusqu'à l'extrava-
« gance. On ne peut pas se dissimuler qu'il paraît avoir
« été un faiseur de projets.»
(Robison, *Encyclop. britan.*, art. *Steam engine.*)

La justification donnée par M. Millington rélativement à l'oubli dans lequel tombèrent, dès le commencement, les pro-

ton, notre figure IV représente un appareil que cet ingénieux mécanicien a dessiné d'après la description qu'on en trouve dans le *Century of inventions*.

Des deux vases sphériques *a*, *o* (fig. IV), partent deux tuyaux *d*, *f*, qui vont aboutir à une chaudière *g*. Ces conduits sont garnis chacun d'un robinet *z*, *w*, qui établissent ou interceptent la communication entre la chaudière et les vases. A la partie diamétralement opposée de chacun des vases se trouve un autre tuyau fermé par une soupape *s* et *x*, s'ouvrant en dehors; les deux soupapes sont enfermées dans le fond d'un autre tuyau *e*. Les vases sphériques sont en outre garnis d'un conduit très court, portant une soupape qui s'ouvre en dedans *n*, *v*; le tuyau *e* s'élève à 40 pieds environ, et aboutit au réservoir *u*; *b* grille du foyer placé sous la chaudière *g*; *t* la porte du foyer; *l* la maçonnerie; *c* le cendrier; *h* réservoir dans lequel sont les vases *o*, *a*, et où se trouve l'eau, et qu'il faut élever dans la citerne *u*.

Supposons maintenant que l'eau de la chaudière *g*, chauffée à cet effet, ait produit une quantité de

jets du lord Worcester, est, à notre avis, la plus adroite de toutes. Il reconnaît cependant que plusieurs de ses inventions portent le cachet de l'extravagance, et sont tellement hors de la portée de l'intelligence humaine, que beaucoup de personnes doutent qu'elles aient existé.

(*Epitome of nat. phil.*, vol. 1, 1823.)

vapeur suffisante, et que le robinet *z* soit ouvert pour établir une libre communication entre la chaudière et l'un des vases placés dans le réservoir : alors la vapeur descendra dans le vase *a* par le tuyau *d* (les tuyaux et les vases devant être faits d'une matière capable d'empêcher la condensation de la vapeur, condensation que doit naturellement produire l'eau du réservoir), et chassera toute l'eau ou l'air qu'il pourrait contenir, par la soupape *s*, dans le tuyau *e*, qui la portera dans le réservoir *u*. Maintenant fermons le robinet *z* : alors la soupape *v*, n'étant plus pressée intérieurement par la vapeur, sera forcée de s'ouvrir en dedans, par suite de la pression de l'eau contenue dans le réservoir, eau qui remplira bientôt le vase *a*. Mais lorsque l'on ferme le robinet *z*, on ouvre en même temps le robinet opposé *w*, et la vapeur, trouvant une issue, se répand dans le tuyau *f*, et chasse l'eau qui était contenue dans le vase *o* jusque dans le tuyau *e*, en déterminant la fermeture de la soupape *s*. Lorsque le vase *o* est plein de vapeur, on ferme le robinet *w*, et l'eau du réservoir se précipite dans le vase *o*, comme nous avons dit pour le vase *a* ; on ouvre de nouveau le robinet *z*, la vapeur refoule l'eau du vase *a* et ferme la soupape *x* ; et l'opération continuera ainsi de suite, tant qu'il y aura de la vapeur dans la chaudière, et que l'on ouvrira et fermera alternativement les robinet *z*, *w*.

Monsieur Millington fait remarquer que cette

machine a, sous plusieurs rapports, beaucoup d'analogie avec la description du marquis de Worcester, qui dit « qu'un homme n'a qu'à tourner deux robinets, et qu'un vase d'eau étant consommé, un autre commence à forcer et à se remplir ». Il fait observer aussi que la condensation de la vapeur ouvre et ferme les soupapes, et remplit les vases; mais que cet usage du vide fait partie d'une invention à laquelle le marquis ne peut prétendre, puisque Sa Seigneurie dit expressément que l'eau ne s'élève pas en la pompant ou en l'aspirant. L'expression forcer et remplir, employée dans la description originale, ferait presque supposer que ces opérations avaient lieu en même temps dans le même vase. L'arrangement des tuyaux, des robinets et des soupapes, est également établi d'après des suppositions.

L'admirable méthode d'élever l'eau par le moyen du feu semble avoir été le projet favori du noble inventeur : car il a consacré un volume entier à l'énumération de ses usages extraordinaires et de sa puissance, sous le titre de *An exact and true definition*, etc. (Définition vraie et exacte de la plus étonnante machine hydraulique, inventée par le très honorable Edward Somerset, lord-marquis de Worcester, digne d'être loué et admiré, présenté par Sa Seigneurie à Sa Majesté Charles II, notre très gracieux souverain.) Cette *Définition vraie et exacte* est une brochure in-4°.

les avantages que donnerait l'addition d'un second vase à la machine de de Caus (fig. IV), dans lequel se formerait la vapeur pour passer ensuite dans le vase rempli d'eau froide, mais ce perfectionnement même (et c'en est un bien important) ne pourrait être déclaré appartenir à Sa Seigneurie qu'après une correction faite à la description donnée dans son *Century of inventions*. Au lieu de lire *forcer* et *se remplir d'eau froide*, il faudrait dire forcer et se vider d'eau froide (1). Cependant le manuscrit qui est au Muséum britannique est conforme aux exemplaires imprimés.

Notre opinion étant qu'il est impossible, dans la pratique, de construire un appareil réunissant toutes les conditions de la description consignée dans le *Century of inventions*, sans introduire des parties qui appartiennent indubitablement au génie inventif de quelques autres mécaniciens, nous hésitons à offrir l'appareil représenté par la figure

(1) Le docteur Brewster a fait la correction, mais en d'autres termes. On y lit : Un vase d'eau étant consommé, un autre commence à forcer, puis à se remplir d'eau froide. Cette version diffère non seulement de l'esprit du texte, mais encore du procédé, car l'eau *est forcée*. La dernière partie de cette inintelligible description dans l'original doit s'entendre probablement comme si l'appareil du marquis eût eu deux vases semblables à ceux de de Caus, sans chaudière à part ; alors cela deviendrait assez clair, et la correction du docteur s'ensuivrait naturellement.

V comme plus conforme à la description que celui représenté par la figure IV, en tant que l'on n'employe pas *la pression de l'atmosphère*, qui n'est pas, dit le marquis, *le principe de sa machine*.

Mais, dans l'état des choses, il n'est pas possible de décider, d'après la description de lord Worcester, s'il a voulu parler de deux chaudières et d'un récipient, ou de deux récipients et d'une chaudière, ou seulement de deux vases pareils à ceux de de Caus, ayant chacun probablement un tuyau de décharge garni des robinets nécessaires pour produire un courant d'eau continu : ce tuyau serait représenté, par exemple, dans la fig. V, par les lignes ponctuées s'élevant perpendiculairement du vase *a*. Dans ce dernier cas on ferait du feu sous chaque chaudière alternativement ; et quand le marquis parle d'un vase d'eau raréfiée par le feu, faisant monter quarante vases d'eau froide, ne doit-on pas entendre par là la quantité d'eau qu'il faudrait convertir en vapeur pour élever la quantité restant dans le même vase à quarante pieds de haut? Un appareil conçu d'après cette supposition serait mieux dans le sens de la description qu'aucune autre machine.

Puisque nous avons la liberté du choix, nous ferons au marquis la concession d'un appareil construit de manière à ce que la vapeur soit produite dans une chaudière séparée. Soit donc *a* (fig. V) cette chaudière; *c* un tuyau ayant un robinet *d*,

et allant de la chaudière au vase d'eau froide *e*, duquel part le tuyau de décharge *f*; *g* désigne un tuyau portant un entonnoir pour recevoir l'eau destinée à alimenter la chaudière; *h* pareil tuyau amenant l'eau froide d'une citerne qui en est remplie; *i* est le robinet adapté à ce tuyau; *k* une soupape destinée à empêcher le retour de l'eau qui pourrait avoir lieu dans la partie supérieure du tuyau *f*.

Lorsqu'en tournant le robinet *d*, la vapeur passe de la chaudière *a* dans le vase d'eau froide *e*, elle fait jaillir l'eau par le tuyau *f*, jusqu'à ce que le vase *e* soit presque vide. Alors l'on ferme le robinet *d* et l'on ouvre le robinet *i*; le vase se remplit de nouveau d'eau froide; l'on ferme ensuite le robinet *i* et l'on ouvre le robinet *d*; la vapeur fournie par la chaudière, pressant sur la surface de l'eau en *e*, l'oblige encore de monter par le tuyau *f*. En répétant cette opération, on continuera aussi long-temps qu'on le voudra le jet de l'eau. Dans l'hypothèse actuelle, la condition d'ouvrir et de fermer alternativement deux robinets se trouve remplie. L'action indiquée de refouler l'eau et de remplir successivement les vases a également lieu. Un vase d'eau vaporisée par le feu élèverait donc une quantité d'eau double de celle qu'annonce le marquis.

Après le décès du docteur Robison, professeur d'Edimbourg, on trouva dans ses papiers une liste des inventions du docteur Hooke, qui contenait,

entre autres choses, la note suivante : « En 1678, proposé une machine à vapeur d'après le principe de Newcomen. » Il est à regretter que ce biographe ait laissé passer cette note sans réflexions : car, d'après son érudition bien connue, il est probable qu'il eût pu suppléer à la citation de l'auteur, d'après les écrits de Hooke. Il eût été également intéressant de s'assurer si cette note, écrite par le docteur Robison, l'avait été avant ou après l'excellente description qu'il a donnée de la machine à vapeur dans l'Encyclopédie britannique. Il semblerait que le projet n'était pas même connu du professeur lors de la publication de l'article en question, ou bien qu'il fut rejeté, à cause des doutes que l'on avait sur son importance. Dans une édition récemment faite de cette description (1), il n'est pas dit un mot de l'idée de Hooke. En lisant les ouvrages de ce mécanicien, le plus instruit parmi les modernes, nous n'avons trouvé cette proposition nulle part.

MACHINE DE SIR SAMUEL MORELAND.

Depuis ce moment, et pendant plusieurs années

(1) *Robison's mechanical philosophy*, 1823, réimpression des divers articles qui furent publiés par le docteur Robison dans l'*Encyclopédie britannique*. Les notes sur l'article Machine à vapeur (*Steam engine*) sont écrites par feu le vénérable M. Watt de Soho.

après le décès du marquis de Worcester, il ne fut fait aucun essai public pour élever l'eau par le moyen de la vapeur (il semble que cette opération ait été jusqu'ici pour tout le monde, à une seule exception près, le grand problème à résoudre). Enfin, en 1682, on voit un sir Samuel Moreland rechercher la protéction du gouvernement français pour l'exécution d'un projet dont il se dit l'auteur, tendant à élever l'eau par la force de la vapeur. En 1683, il présenta son invention au roi, à Saint-Germain ; mais il paraît qu'il n'obtint pas de ce monarque l'encouragement qu'il sollicitait. On ne connaît aucune description de son appareil, et l'on ne sait rien du principe ni de la nature ni de son action. Heureusement cependant que les résultats de quelques expériences faites par sir Samuel sur l'élasticité de la vapeur ont été conservés dans les manuscrits du Muséum britannique.

Le mémoire de sir Samuel est en français, sur papier vélin et d'une très-belle écriture. Le titre porte qu'il a été présenté au roi de France par sir Samuel Moreland, maître mécanicien du roi d'Angleterre. Il n'a que vingt-deux pages, et donne la description de diverses machines pour élever l'eau. La partie relative à la machine à vapeur n'occupe pas tout-à-fait quatre pages. En considérant l'époque où cette partie du mémoire a été écrite, c'est un travail vraiment remarquable.

L'eau étant réduite à l'état de vapeur par l'ac-

tion du feu, cette vapeur, dit sir Samuel, occupe un espace beaucoup plus grand (environ deux mille fois) que celui occupé par l'eau, et la force en est si prodigieuse qu'étant comprimée elle ferait éclater un canon; mais si on se conforme, en l'employant, aux lois de la statique, si on observe l'évaluation, soit en poids, soit en mesure, à laquelle la science la soumet, la vapeur est alors maîtrisée à volonté, et devient d'une utilité immense, surtout pour élever l'eau. La table suivante indique le nombre de livres (poids français) qu'on peut élever, six cents fois par minute, à six pouces de hauteur, dans des cylindres à moitié pleins d'eau ou à peu près; elle indique aussi les diamètres et longueurs des différents cylindres.

CYLINDRES.

Diamètre en pieds.	Longueur en pieds.	Poids à enlever
1	2	15
2	4	120
3	6	405
4	8	960
5	10	1,875
6	12	3,240

Nombre de cylindres de 6 pieds de diamètre et de 12 pieds de long.	Poids de l'eau à élever.
1	3,240
2	6,480
3	9,720
4	12,960
5	16,200
6	19,440
7	22,680
8	25,920
9	29,160
10	32,400
20	64,800
30	97,200
40	129,600
50	162,000
60	194,400
70	226,000
80	259,000
90	291,640

Les expériences de sir Samuel ont dû être faites avec un soin extrême ; et il faut dire à la louange

de son exactitude en mécanique que son estimation de la dilatation de l'eau convertie en vapeur s'accorde avec celle indiquée par un habile ingénieur, dans un ouvrage nouveau sur cette matière, comme une approximation à peu près suffisante dans la pratique. Plus tard, et long-temps après, Desaguliers évalua cette dilatation à quatorze cents fois. Son estimation, considérée comme exacte pendant plus d'un demi-siècle, se trouve consignée dans tous les ouvrages publiés antérieurement à 1800. A cette époque, le professeur Robison donna les expériences de M. Watt, d'après lesquelles la vapeur aurait de dix-huit à dix-neuf cents fois le volume de l'eau qui l'avait produite (1).

La méthode de fixer une quantité d'eau à élever à une certaine hauteur un nombre de fois donné par minute est encore celle suivie aujourd'hui pour estimer la puissance des machines à vapeur. Il y a tout lieu de croire que sir Samuel avait connaissance de la description qui se trouve dans le *Century of inventions*, puisqu'il cite l'expérience invraisemblable du marquis de Worcester comme une preuve de la force de la vapeur. Il y avait déjà plusieurs années que lord Worcester était mort à l'époque où sir Samuel fit l'expérience de son ap-

(1) Des expériences très exactes, faites par M. Gay-Lussac, démontrent qu'un volume d'eau fournit environ dix-sept cents fois son volume de vapeur à la température de 100 degrés. Voy. l'introduction, p. 24. [*Note de l'Editeur.*]

pareil ; et quel qu'ait été le procédé ou le principe qu'il ait adopté, on ne peut pas lui disputer le mérite d'avoir été le premier qui ait fait des expériences exactes sur la force élastique de la vapeur (1).

DÉCOUVERTES DE PAPIN.

On a remarqué comme une circonstance fort curieuse dans l'histoire de la machine à vapeur que presque tous ceux qui ont fait quelque perfectionnement, soit dans la construction, soit dans l'application de cette machine, ont revendiqué le mérite exclusif de l'avoir inventée. Denis Papin, né à Blois, homme de génie, et philosophe profond, est regardé par les Français comme l'inventeur véritable de la machine à vapeur. Cette prétention est fortement contestée par des auteurs anglais très respectables qui ont écrit sur cette matière; mais les renseignements qu'ils font valoir ont été puisés, à ce qu'il nous semble, dans des

(1) Dans la dernière édition du *Mécanicien* de Ferguson, par le docteur Brewster, on a évalué la dilatation de la vapeur à quatorze cent fois, telle que Ferguson l'avait donnée d'après Desaguliers. On n'a fait à cet égard aucune correction dans l'excellent volume supplémentaire; on n'y trouve même pas la dilatation réelle. Nous croyons devoir signaler cette erreur, parce qu'elle peut avoir des conséquences graves, attendu que ce livre, ouvrage de beaucoup de mérite d'ailleurs, est entre les mains de presque tous les mécaniciens.

sources erronées, et les autorités qu'ils citent sont au moins suspectes. Pour rendre hommage à la vérité, nous dirons que, parmi les hommes dont les travaux ont contribué à faire de la vapeur ce qu'elle est aujourd'hui, il n'y a que Papin qui, dans ses écrits, se soit montré au-dessus de cette vanité et de ce ridicule enthousiasme dont les inventeurs font ordinairement parade.

Le premier projet que conçut Papin, et il est utile de s'en souvenir, tendait à obtenir une puissance motrice par le moyen de la pompe pneumatique (1); il annonçait ce projet comme un moyen qui le mettait à même de transmettre par des tuyaux à une distance considérable l'action d'un moulin. Les cylindres des pompes pneumatiques

(1) Le journal intitulé *Acta eruditorum*, de Leipsick, année 1685, contient quelques articles de Papin. L'un d'eux est la description d'une nouvelle machine pour élever l'eau; elle est reproduite plus au long dans le même journal du mois de juin, et elle l'est encore dans le mois d'août suivant. Dans les *Nouvelles de la république des lettres*, de juillet 1687, on trouve une réponse de Papin à quelques objections faites contre cet appareil par M. Nuit. En 1681, il inventa la manière de dissoudre les os par la vapeur à une haute température; la même année son procédé fut publié en anglais, et l'année suivante en français, avec des modifications, sous ce titre : Manière d'amollir les os et de faire cuire toutes sortes de viandes en peu de temps et à peu de frais. C'est Papin qui, le premier, introduisit dans cette machine ou marmite la *soupape de sûreté*.

placés à une extrémité communiquaient par des tuyaux avec des cylindres pareils placés à l'autre extrémité assez éloignée; un mécanisme intermédiaire formait la liaison avec les tiges à piston des pompes d'une mine. Si le moulin était mis en mouvement (à l'aide d'une chute d'eau, par exemple) les pistons des cylindres auxquels il se liait montaient ou descendaient, tandis que les pistons placés à l'autre extrémité du tuyau recevaient un mouvement ascendant ou descendant en sens contraire. Ainsi, par exemple, lorsque les pistons attachés au moulin montaient, les autres descendaient, et ainsi de suite. Ce projet ne réussit pas, quoique exécuté en petit, à cause de la résistance prodigieuse du piston, alors même que le tuyau de communication entre les deux cylindres n'avait que quelques pouces de longueur, et par l'effet de la lenteur avec laquelle le mouvement se communiquait.

Papin chercha à obvier à ces inconvénients par l'emploi d'un moyen de faire le vide dans le cylindre, autre que celui de faire pomper l'air par le moulin. En 1688, il donna la description d'un perfectionnement ayant pour effet de déplacer l'air renfermé dans le cylindre au-dessous du piston, par l'explosion de la poudre; mais on reconnut encore une fois que la puissance était presque nulle: car il n'aurait jamais pu parvenir, sans compromettre son appareil, à remplir des gaz produits par la dé-

tonation la partie inférieure du cylindre assez exactement pour qu'il ne restât pas d'air en dessous du piston. C'est alors qu'il fut démontré à Papin par Hooke et autres que, quelque complet que soit le vide dans le premier comme dans le second projet, si le tuyau de communication était tant soit peu long, la compressibilité de l'air (abstraction faite du frottement) était si grande, qu'il fallait que son cylindre fût énormément long (ou, pour nous servir du mot technique, le coup de piston) pour que le mouvement du piston ne fût pas insensible à l'autre extrémité. Cependant, en 1690, époque où il publia à part la description de sa manière de faire usage de la poudre à tirer, il perfectionna l'idée de communiquer le mouvement à une grande distance, en faisant le vide non seulement en dessous du piston, mais aussi dans le tuyau de communication. Papin sentit bien néanmoins que ce moyen, quoique très ingénieux, était presque impraticable, à cause de la grande difficulté qu'il y avait à chasser l'air avec sa pompe pneumatique ou en brûlant de la poudre: aussi, parmi les procédés qu'il indiqua pour remédier à cette imperfection, il en est un où il conseille d'employer la vapeur pour faire le vide en dessous du piston et pour faire remonter ce piston par son élasticité. Il démontre dans cette brochure qu'une petite quantité d'eau convertie en vapeur par le moyen du feu peut fournir une puissance élastique de la

même nature que l'air, mais qu'elle se dissipe totalement en se refroidissant, et se change en eau. C'est par ce moyen qu'il découvrit qu'il était possible de construire une machine avec laquelle on pourrait avec peu de feu et à peu de frais obtenir un vide parfait, ce qu'il n'avait pu faire avec la poudre.

Dans un recueil de lettres où il se livre à la description de quelques unes de ses inventions, cette machine forme le sujet de son quatrième article. Après avoir disserté sur la difficulté de faire le vide par le moyen de la poudre : « Partout, dit-il, où « l'on n'a pas une rivière à proximité pour faire « jouer la machine susdite (celle de 1685), on peut « convertir en vapeur une petite quantité d'eau, en « chauffant le fond du cylindre qui la contient. *Cette « vapeur*, ajoute-t-il, *fait remonter le piston qui « est dans le cylindre à une hauteur considérable, « et ce piston, lorsque la vapeur se condense, re- « descend par la pression de l'air. La continua- « tion de ce mouvement alternatif peut servir à « épuiser l'eau d'une mine.* » (1)

C'était là une heureuse idée, et si Papin eût été jusqu'à en faire l'expérience, il eût infailliblement trouvé la machine atmosphérique (2) ; et si l'on ne peut pas contester à cet ingénieux mécanicien

(1) Recueil des diverses pièces touchant quelques nouvelles machines, Cassel, 1695. *Extrait phil. trans.*, 1697, pag. 483.

(2) « Ce ne fut que quelque temps après que Savery eut

l'honneur d'avoir donné la *première idée*, et d'avoir établi le principe fondamental sur lequel repose le magnifique mécanisme de la machine à balancier, on ne saurait non plus nier que le mérite d'avoir réalisé son idée, d'avoir transformé un projet en une application utile, appartient tout entier à un autre. D'où il résulte qu'on ne peut pas, de bonne foi, admettre la prétention qu'il a d'avoir construit une machine à vapeur d'après une autre principe machine, qui aurait détourné son attention de son premier projet et qui le lui aurait fait abandonner.

« obtenu son brevet, que Papin songea à tourner son attention « vers les moyens d'obtenir une *puissance produite par la* « *vapeur*, car toutes ses recherches antérieures s'étaient bor- « nées à découvrir la nature et la température de la vapeur « lorsqu'elle *était enfermée dans un vase sans issue.* » (Millington.) Pour mettre le lecteur à même d'apprécier la justesse de cette assertion, nous ferons observer que le brevet de Savery portait la date de 1698. Et quelques pages plus loin l'auteur de cette note avoue cependant que Papin travaillait à des projets dont le but était de créer une puissance motrice par l'effet de la pression atmosphérique, et de la communiquer par des tuyaux à de très grandes distances; cependant il n'est pas certain qu'il ait eu rien d'arrêté dans l'esprit quant aux meilleurs moyens de faire le vide nécessaire, car il proposait tantôt un énorme moulin pour faire aller de grosses pompes pneumatiques, tantôt la commotion de la poudre, et enfin *la vapeur et la condensation de la vapeur.* Quoique tous ces moyens aient été publiés, on ne voit pas que personne avant Newcomen en ait profité pour construire des machines d'après ces principes,

MACHINE DE SAVERY.

La profondeur croissante de nos mines, et les dépenses énormes occasionées par les moyens insuffisants qu'on employait alors pour épuiser l'eau qui les envahissait, commençaient à occuper les esprits non seulement de ceux qui avaient un intérêt immédiat dans cette sorte de propriété, mais aussi de toute la nation. Ce sujet attira l'attention de tous les mécaniciens, et ils s'appliquèrent à chercher les moyens de perfectionner le mécanisme alors en usage, en diminuant les frottements et en donnant aux rouages plus de justesse, au lieu de chercher une force motrice plus puissante et plus économique tout à la fois.

L'histoire des mines de l'époque ne présente qu'une longue énumération des machines manquées et de plaintes des propriétaires qui, excités par l'urgence du besoin ou par la cupidité, s'étaient laissé entraîner dans des expériences dispendieuses.

Chaque mauvais succès venait ainsi ajouter aux obstacles qui dans tous les temps s'opposent à l'admission des innovations ou des perfectionnements; alors comme aujourd'hui les projets informes présentés et dirigés par des ignorants ou des fripons contribuaient à faire repousser les inventions utiles des hommes plus honorables et plus habiles.

C'est vers ce même temps que Savery, capitaine de marine, présenta aux entrepreneurs des mines

une machine de son invention, dans laquelle on pouvait reconnaître ce génie, cette profondeur d'esprit, et cette habileté mécanique que l'on trouve si rarement dans les conceptions de cette nature. Mais elle venait à la suite d'une foule de projets qui avaient trompé l'attente générale : à peine fit-on quelque attention à l'appareil si simple, si puissant, de Savery, et il fut dédaigné par ceux mêmes qui avaient le plus grand intérêt à l'adopter.

Il y avait déjà quelques années que sa machine était inventée, et qu'elle était appréciée par plusieurs praticiens, lorsque Savery, qui s'était peu occupé d'en propager l'usage, fut réduit à se servir de son existence pour combattre la prévention défavorable qu'elle n'existait qu'en projet. « Je se-
« rais fâché, dit quelque part ce grand mécanicien,
« qu'on pût me reprocher de n'être qu'un faiseur
« de projets : c'est pourquoi je présente à votre exa-
« men un dessin de ma machine (Voy. la fig. VI.),
« avec l'explication de l'emploi qu'on peut en faire ;
« et c'est à vous de voir si elle vaut la peine que
« vous vous en serviez ou non. Votre défiance est
« bien raisonnable, et très excusable à mes yeux,
« parce que je sais combien de faux essais ont été
« tentés par des ignorants, incapables d'exécuter les
« projets qu'ils avaient mis en avant ; on en a pré-
« senté en si grand nombre, revêtus d'apparences
« séduisantes, qui promettaient de beaux résultats,

« qu'ils ont été si loin de tenir, que votre prudence
« et votre discrétion vous font un devoir mainte-
« nant de ne rien croire sans une démonstration
« préalable. Cependant, malgré cela, je vous supplie
« de ne pas me condamner avant d'avoir examiné,
« de ne pas me rendre responsable du mauvais suc-
« cès des autres et m'en faire porter la peine. J'ai sou-
« vent déploré l'ignorance où l'on est des véritables
« forces de la nature, ignorance qui de nos jours a
« fait entreprendre la construction d'énormes ma-
« chines aussi dispendieuses qu'inutiles, et surtout
« bien inférieures aux anciennes machines en usage
« depuis des siècles. Aussi, selon moi, tous ceux qui,
« pendant le siècle dernier, ont prétendu avoir per-
« fectionné les machines mues par les anciennes
« forces motrices, ou se trompent grossièrement, ou
« ne sont pas de bonne foi : car depuis plus de cent
« ans les machines mues à force de bras ou de che-
« vaux donnent autant d'eau qu'elles le font au-
« jourd'hui, et je pourrais peut-être ajouter qu'elles
« en pourront jamais donner, d'après les lois de la
« physique. (1) »

Savery s'exprime, dans son discours et ses explications, avec toute la franchise et l'énergie d'un homme convaincu qu'il a fait une découverte d'une importance immense pour le genre humain. L'histoire des inventions mécaniques n'offre pas

(1) Voy le *Miner's friend*, édition de 1702, pag. 6.

d'exemple d'un inventeur qui ait réclamé aussi hautement et aussi franchement l'essai et l'examen de sa machine elle-même, comme preuve de l'excellence de l'invention. Cette manière de procéder est si différente de celle d'un homme qui s'arrogerait la gloire due au génie d'un autre, qu'il nous est impossible de ne pas soupçonner Desaguliers de s'être laissé influencer par une basse animosité personnelle, en cherchant à attribuer cette invention au marquis de Worcester.

« Le capitaine Savery, à ce que prétend le doc« teur (1), ayant lu l'ouvrage du marquis de Wor« cester, fut le premier qui mit en pratique l'é« lévation de l'eau par le feu, comme moyen de « tarir les mines. Sa machine se trouve décrite « dans le *Harris's Lexicon*, et en la comparant « à la description du marquis de Worcester, on « reconnaîtra aisément qu'elle a été faite d'après « ce dernier, malgré la dénégation du capitaine « Savery, qui pour mieux déguiser son larcin, acheta « tous les ouvrages du marquis de Worcester qu'il « put trouver dans *Pater noster Row* et ailleurs, « et les fit brûler en présence de la personne qui « me l'a dit. Le capitaine assure que c'est par « hasard qu'il découvrit la puissance de la vapeur, « et il avait inventé le conte suivant pour per« suader les incrédules. Après avoir bu, dit-il, un

(1) Voy. *Experimental philos.*, vol. 2, pag. 466.

« flacon de vin de Florence et jeté le flacon vide
« au feu, il demanda un bassin d'eau pour se la-
« ver les mains. S'étant aperçu que le peu de vin
« resté dans le flacon l'avait rempli de vapeur, il
« prit le flacon par le cou et en plongea le gou-
« leau dans l'eau du bassin : la pression de l'air fit
« aussitôt remonter l'eau dans le flacon. Or je
« soutiens, dit Desaguliers, qu'il n'a jamais fait
« cette expérience, ni eu l'intention de la faire; et
« en voici la preuve :

« J'ai fait moi-même cette expérience tout ex-
« près avec environ un demi-verre de vin resté
« dans un flacon pareil. Je plaçai le flacon sur le
« feu et le laissai jusqu'à ce que le vin fût converti
« en vapeur: alors je mis un gant bien épais pour
« ne pas être brûlé par le col du flacon, et je
« plongeai le gouleau dans l'eau contenue dans un
« vase; mais la pression de l'atmosphère fût telle-
« ment forte, que le flacon m'échappa des mains
« avec violence et vola au plancher. La même
« chose aurait dû arriver au capitaine Savery, s'il
« eût fait cette expérience, comme il le dit, et il
« n'aurait pas manqué de nous faire part d'une
« circonstance aussi remarquable, qui aurait em-
« belli son histoire » (1).

(1) Robison, *Encycl. britann.*, art. *Steam engine*. Voy. aussi son *Mechanical philosophy*, vol. 2, pag. 48.

Switzer, connu personnellement de Savery, nous donne

Cette grave accusation, comme l'a fort bien observé le docteur Robison, devrait être appuyée

une version un peu différente de ce conte. On n'a rien imaginé, observe-t-il, de plus étonnant pour élever l'eau que la machine à feu, appareil qui est tout entier de l'invention d'un mécanicien que j'ai eu l'honneur de connaître intimement et fort long-temps. Je veux parler ici du capitaine Savery, mort depuis peu, mais qui fut un des plus célèbres ingénieurs de son temps, et l'un des commissaires chargés des malades et des blessés. L'hydrostatique, ou l'hydraulique, ou le perfectionnement des machines à eau, occupèrent continuellement son esprit et son temps; et la première idée qu'il eut, dit-on, de cette machine, lui vint d'une pipe qu'il plongea dans l'eau pour la laver ou la refroidir, comme cela arrive quelquefois. Il découvrit que la raréfaction de l'air dans le tuyau causée par la chaleur, et la pression de l'air extérieur, faisaient jaillir l'eau par le tuyau de cette pipe d'une manière surprenante. Et l'on viendra dire après cela que c'est le savant marquis de Worcester, dans son ouvrage le *Century of inventions* (livre que je n'ai jamais vu), qui a donné la première idée de faire monter l'eau par le moyen du feu. Cet homme profond (le capitaine Savery), dont le génie fait le plus grand honneur à son pays, nous dit lui-même qu'il lui fallut beaucoup de temps pour perfectionner son ouvrage, à cause de la maladresse des ouvriers qu'il était obligé d'employer à ce travail. Je lui ai entendu répéter moi-même que le premier essai qu'il en fit fut dans un cabaret, à Lambeth, où, bien que la machine fût petite, l'eau traversa le toit en soulevant les tuiles d'une manière qui surprit tous les spectateurs. Voy. pag. 324 de l'*Introduction à un système général d'hydrostatique*, etc., par Stephan Switzer. Année 1729.

de preuves convaincantes. Cependant Desaguliers n'en produit aucune, et il était trop jeune pour savoir ce qui s'était passé dans ce temps-là. Son raisonnement est très maladroit et ne l'autorise pas à qualifier de mensonge l'expérience de Savery : car le fait aurait pu avoir lieu précisément comme le rapporte Savery, et non pas comme le raconte Desaguliers. La vérité est que Savery obtint son brevet en 1698, après une réfutation des objections qui lui avaient été faites, dans laquelle il n'est fait aucune mention de la découverte du marquis de Worcester; mais il y a plus, il avait déjà construit plusieurs de ses machines avant d'obtenir son brevet, et publié une description de sa machine en 1696, sous le titre de *The miner's friend*, et un dialogue pour servir de réponse aux objections qu'on lui avait faites contre sa machine, en 1699. L'une et l'autre furent imprimés en un volume en 1702. On a donc donné toute la publicité possible non seulement au principe de son appareil, mais à sa construction; et tant que vécut Savery, on n'avait jamais songé à rappeler la description du marquis de Worcester. On ne trouve dans aucun auteur la fable des livres brûlés. Desaguliers lui-même n'en parle pas dans l'ouvrage qu'il publia en 1743; et ce n'est que dans un volume qu'il donna pour la première fois en 1746, près de trente ans après la mort de Savery et près de cinquante ans après la délivrance du brevet,

qu'il fait ce récit. Il est encore à remarquer que, dans cette narration du docteur, il est question *du livre* du marquis de Worcester. Desaguliers ignorait-il que le marquis de Worcester avait publié deux volumes séparés, contenant chacun la description? S'il l'ignorait, comment l'autre volume serait-il devenu rare? N'en existait-il pas quelques exemplaires qui, produits en justice, auraient fait tomber les prétentions de Savery, et empêché la délivrance de son brevet. (1)

Il est certain aujourd'hui que Savery, de son vivant, n'eut pas en Angleterre de concurrents qui lui disputassent l'honneur d'avoir inventé la machine qui porte son nom. Il n'est nullement extraordinaire qu'une brochure soit devenue rare sur les tablettes des libraires, trente cinq ans après sa publication; ce serait mêmeun miracle qu'on trouvât, après un aussi long espace de temps, un exemplaire d'un ouvrage qui avait été l'objet d'un oubli aussi profond que le *Century of inventions*.

Savery fit voir un modèle de sa machine au roi Guillaume, à Hampton-Court. Le succès de l'expé-

(1) Quand on se rappelle la description négligée, incorrecte et vague du marquis, et qu'on se rappelle aussi qu'il ne descend pas aux détails de l'exécution et de la construction, on ne voit pas quelle forte raison il pourrait y avoir pour dépouiller ainsi le capitaine du titre d'inventeur. *Crit. nat. philos.*, pag. 253.

rience parut tellement satisfaisant que le roi lui-même s'y intéressa vivement.

Ce ne fut qu'au mois de juin 1699, c'est-à-dire un an après avoir obtenu son brevet et exécuté des modèles, qu'il fit l'essai de sa machine devant la société royale. Dans son mémoire adressé à cette société, mémoire qu'il a mis en tête de son *Miner's friend*, édition de 1702, il rappelle les grandes difficultés qu'il avait rencontrées, et les dépenses énormes qu'il avait faites pour instruire les ouvriers et les mettre en état de construire sa machine; il dit qu'il était enfin parvenu à former des ouvriers capables d'exécuter ses machines avec la plus grande exactitude, et tellement en état de servir, qu'il pouvait les garantir à ceux qui voulaient en faire usage.

La machine de Savery est représentée fig. VI. Elle se compose de deux chaudières *L*, *l*, d'inégales grandeurs, établies dans un bon fourneau doublé en briques *A*, construit de manière à ce que la flamme circule autour des deux chaudières. Chacune de ces chaudières est munie d'un robinet jauge ou robinet d'épreuve *N*, *n*; la chaudière *l* porte à sa partie supérieure deux tuyaux : l'un *f*, garni d'un robinet *e*, établit la communication de la chaudière *l* avec la tuyau montant *S*; l'autre *k* traverse la couverture de la chaudière et descend verticalement jusqu'à huit pouces environ de son fond. Ce tuyau est muni d'une soupape *i*, s'ouvrant de bas

en haut, et reçoit à son extrémité supérieure le tube coudé *K*, qui se rend dans la chaudière *L*.

La chaudière *L* porte à sa partie supérieure un collet recouvert d'un plateau, d'où partent deux tuyaux coudés *O*, *o*; ces tuyaux sont traversés à leur naissance par une plaque mobile pouvant glisser à frottement dans une coulisse ménagée à cet effet, de manière à permettre ou à intercepter le passage. Ces soupapes à tiroir sont mises en mouvement par un mécanisme ou régulateur *Q*, combiné de telle sorte que, quand l'un des tuyaux est fermé, l'autre est ouvert, *et vice versa*. On comprendra facilement ce mécanisme par l'inspection de la fig. VII, où est représentée plus en grand la partie supérieure de la chaudière *L*. *z* est le manche du régulateur. Les tuyaux *O*, *o*, vont aboutir aux récipients *P*, *p*, qui ont chacun à leur partie inférieure un autre conduit indiqué fig. VI. *T* est un tuyau d'aspiration ayant son extrémité inférieure plongée dans l'eau d'un puits ou d'une citerne. Ce tuyau se divise en deux branches, *t*, *t'*, portant chacune une soupape *V*, *v*, qui s'ouvrent de bas en haut. L'une de ces branches reçoit au-dessus de sa soupape le conduit qui part du récipient *p*, l'autre celui qui part du récipient *P*. Au-dessus du point de jonction, chaque branche *t*, *t'*, porte une seconde soupape *R*, *r*, s'ouvrant également de bas en haut, et qui établit ou ferme la communication entre le récipient et le tuyau montant *S*, destiné à

conduire l'eau que l'on veut élever. Un peu au-dessus des deux chaudières il part du tuyau *S* deux conduits : l'un *d*, amenant l'eau au-dessus du robinet *e* dans le tuyau *f*; l'autre, qui n'est pas indiqué sur la figure, servant à remplir la citerne *x*. Celle-ci porte à son fond un tuyau de décharge mobile *y*, construit de manière qu'il n'est ouvert que lorsque son extrémité se trouve au-dessus de l'un des deux récipients ; il est garni d'un manche indiqué sur la figure, au moyen duquel on le tourne à volonté ; *B*, *b*, représentent les deux portes des foyers, *c* la cheminée commune aux deux parties du fourneau.

Lorsque l'on voudra faire marcher la machine, on commencera par dévisser les deux robinets jauges *N*, *n*; on remplira par les ouvertures la grande chaudière *L* jusqu'aux deux tiers, et la petite chaudière *l* entièrement ; on revissera les deux tuyaux aussi juste que possible, et on allumera du feu dans le foyer *B*. Dès que l'eau de la chaudière *L* sera en ébullition, on poussera le manche *z* du régulateur autant que faire se pourra. D'après ce que nous avons dit plus haut du mécanisme *Q*, le conduit *O* sera ouvert et le conduit *o* fermé ; et la vapeur provenant de l'eau en *L*, ne trouvant d'autre issue qu'en *O*, se précipitera par ce tuyau dans le récipient *P* avec une force d'autant plus grande qu'elle se produira plus abondamment ; la vapeur chassera devant elle l'air qui remplissait le récipient *P*, le refoulera dans le tuyau *t* en *U*, où l'air

comprimé fermera plus exactement la soupape *V*, et ouvrira au contraire la soupape *R*, par laquelle il s'échappera avec bruit dans le tuyau *S*. L'on s'apercevra que tout l'air est sorti à la chaleur du récipient : alors on tirera à soi le manche du régulateur *z*. Le tuyau *O* se fermera, le tuyau *o* s'ouvrira, la vapeur entrera dans le récipient *p* et refoulera l'air qu'il contenait par la soupape *r* dans le tuyau *S*. En même temps que l'on tirait à soi le manche *z*, l'on amènera le tuyau *y* au-dessus du récipient *P*. Ce tuyau fermé, comme nous l'avons dit, tant qu'il n'est pas au-dessus de l'un des deux récipients, versera sur le cylindre *P* de l'eau destinée à le refroidir ; l'injection devra être de peu de durée. L'eau coulant le long du récipient déterminera à l'intérieur un abaissement de température, et par suite la condensation de la vapeur qui le remplissait. Il se produira un vide. L'air ou l'eau qui se trouve en *S* ne pourra rentrer dans le récipient, puisqu'elle pèsera sur la soupape *R* dans le sens opposé à celui où elle s'ouvre ; mais l'eau dans laquelle plonge le bas du tuyau *T* s'élèvera dans ce tuyau par suite de la pression de l'atmosphère qui s'exerce sur elle, et, soulevant la soupape *V*, remplira le cylindre *P*.

Si l'on pousse alors le régulateur, et que l'on amène le tuyau *y* au-dessus de *p*, la condensation s'opérera dans ce récipient, et il se remplira d'eau de la même manière que nous venons de le détailler

pour le récipient *P*. En même temps la vapeur de la chaudière *L*, n'ayant d'issue qu'en *O*, pressera la surface de l'eau qui remplit le vase *P*, échauffera la couche supérieure par son contact; et comme sa force élastique augmentera de plus en plus, elle exercera sur l'eau une pression toujours croissante, jusqu'à ce qu'elle soit plus forte que le poids de l'eau qui se trouve en *S*, alors l'eau refoulée traversera la soupape *R*, s'élèvera dans le tuyau montant *S*, et le récipient *P* sera de nouveau rempli de vapeur.

Par un nouveau mouvement du régulateur et du tuyau *y*, la vapeur arrivera sur l'eau du cylindre *p*, agira comme précédemment, tandis que la condensation de la vapeur et l'introduction de l'eau s'effectueront en *P*. Les mêmes effets se produiront ainsi alternativement dans les deux récipients tant que l'on fera marcher le régulateur et le tuyau *y* et qu'il y aura de l'eau dans la chaudière *L* : l'eau qui aura traversé les récipients montera dans le tuyau *S* jusqu'à ce qu'elle parvienne à son extrémité supérieure, par laquelle elle se videra dans le conduit ou la citerne destinée à la recevoir.

Lorsqu'il ne reste que peu d'eau dans la grande chaudière, il est d'autant plus indispensable de la remplir que toutes les parties de la chaudière exposées à l'extérieur au contact de la flamme, et qui ne seraient pas baignées d'eau à l'intérieur, seraient brûlées ou fondues; mais il serait trop incommode

d'employer, pour renouveler l'eau dans cette chaudière, le procédé employé pour la remplir avant que le feu soit allumé; la machine cesserait d'ailleurs de fonctionner pendant cette opération. Pour éviter cette interruption, voici ce que Savery a imaginé.

Lorsque l'on tournera le robinet jauge *g*, il s'élancera au dehors de l'eau ou de la vapeur : s'il sort de l'eau, ce sera une preuve que la chaudière est plus qu'à moitié pleine; s'il sort de la vapeur, ce sera un signe certain que l'eau est plus basse que l'extrémité inférieure du robinet qui descend à moitié de la hauteur de la chaudière. Alors on allumera du feu dans le foyer *b*; l'eau de la petite chaudière entrera en ébullition; la vapeur formée pressera sur l'eau, et sa force élastique devenant enfin plus grande que celle de la vapeur de la grande chaudière, qui a une issue perpétuelle, tandis que la vapeur de la petite s'accumule sans cesse, l'eau contenue dans *l*, refoulée par sa propre vapeur, montera par le tuyau *h*, ouvrira la soupape *i*, et s'écoulera par le tuyau *K* dans la grande chaudière. Cet écoulement continuera jusqu'à ce que la surface de l'eau en *l* soit au-dessous de l'embouchure du tuyau *h* : alors le bruit que produira la vapeur en passant par la soupape *i* avertira que la chaudière *l* est à peu près vide. On pourra à volonté ou arrêter le feu, ou introduire de nouvelle eau dans la petite chaudière, en tournant le robinet *e* de manière à entretenir une introduction et

une évacuation continues qui préviennent tout danger et toute interruption. Si vous ne voulez pas attendre pour introduire de l'eau en *l* que le sifflement que fait la vapeur en passant en *i* vous avertisse qu'il est temps de le faire, vous pourrez vous assurer de la hauteur de l'eau au moyen du robinet jauge, comme il a été indiqué pour l'autre chaudière.

Les inconvénients que l'on doit éviter dans le jeu de la machine sont qu'il ne reste encore de l'eau dans les récipients *p, P,* lorsque l'on ferme la soupape à tiroir, ou qu'au contraire il ne s'échappe de la vapeur par les soupapes *r, R,* ce qui arrive si l'on tarde trop à fermer la soupape à tiroir. L'on peut reconnaître à l'apparence de l'extérieur du récipient s'il y reste encore de l'eau aussi-bien que si la paroi était transparente : en effet, là où le cylindre est rempli de vapeur, il est en dehors sec et tellement chaud que l'on peut à peine le toucher avec la main; là, au contraire, où l'intérieur est baigné d'eau, le dehors est froid et humide. Cette froideur et cette humidité disparaissent à mesure que la vapeur remplace l'eau qu'elle refoule; si l'on n'arrête pas l'introduction de la vapeur à temps, vous serez averti qu'il s'en échappe à travers les soupapes *r, R,* par le bruit ou sifflement que fera la vapeur en passant par ces soupapes. L'on évitera avec soin ces émissions de vapeurs, qui sont absolument en pure perte.

L'on conçoit, d'après la description de cette machine et de sa manière d'opérer, avec quelle facilité on peut la mettre en mouvement et la diriger : il suffit d'une personne pour tourner le régulateur, le robinet à eau, et alimenter le feu. On pourrait, à la rigueur, confier ce soin à un enfant; mais l'auteur exprime le désir que, pour plus de sûreté, on charge un homme de ce travail, et même un homme d'une prudence reconnue, afin qu'il ne néglige aucune des précautions indiquées pour empêcher les accidents.

Le propriétaire peut d'ailleurs toujours s'assurer si la négligence excessive ou la malveillance d'un ouvrier ne compromet pas l'existence de sa machine. En effet si, au moyen des robinets jauges, il s'aperçoit, pendant que la machine travaille, que l'eau en l ou L ne s'élève pas à la moitié de la hauteur de la chaudière, il est évident qu'il ne peut avoir aucune confiance dans l'homme chargé de diriger l'appareil. Cependant, même dans ce cas, la chaudière peut encore rester plusieurs heures exposée à l'action du feu sans courir un danger réel, puisqu'il faut, pour que le cuivre fonde ou éclate, qu'il soit entièrement à sec. En un mot, toutes les pièces mobiles de cette machine étant des soupapes, qui, comme on le sait, deviennent meilleures par le service; si les fourneaux sont faits de bonne brique et de pierre réfractaire; si les boîtes, soupapes, tuyaux, régulateurs, robinets, sont

en laiton, les chaudières et récipients du meilleur cuivre battu et d'une épaisseur suffisante pour résister à la pression de la vapeur et à l'action de la machine; celle-ci, confiée aux soins d'un ouvrier intelligent, pourra durer un grand nombre d'années (1).

La fig. VII représente plus en grand le mécanisme placé sur le haut de la chaudière *L*. Les mêmes lettres ont les mêmes indications que dans la fig. VI.

La machine de Savery fut surtout employée pour amener l'eau dans les palais, les habitations de campagne des grands, et toutes les maisons en général (2), pour dessécher les marais, et pomper

(1) D'après Nicholson, Savery substitua plus tard à l'aspersion d'eau froide qui avait lieu sur la surface extérieure du cylindre une injection intérieure qui s'effectuait au moyen d'un tuyau, garni d'un robinet, établissant la communication entre le tuyau *S* et chaque récipient. Mais M. Stuart attribue cette découverte à Newcomen, par suite de l'observation d'un phénomène particulier que présenta sa première machine, et dont il sera question dans la description de cette machine. (*Note de l'Ed.*)

(2) « On a pu voir, dans le jardin du très noble pair le duc « de Chandois, à son domaine de Sion Hill, de quelle utilité « cette machine peut être pour établir des fontaines, jets « d'eau, etc. On avait placé une pompe à vapeur dans l'é- « tage inférieur d'une charmante maison de plaisance : elle « faisait monter l'eau dans une citerne placée sur la couver- « ture, et l'on avait le spectacle ravissant d'un jet d'eau s'éle- « vant au-dessus de la maison. » Voy. *Switzer*, v. 2, p. 334.

l'eau dans les vaisseaux (1); et il en établit un grand nombre dans différentes contrées de l'Angleterre. Il n'assignait d'autre limite à la puissance de sa machine que l'impossibilité où l'on était d'établir des tuyaux et des récipients assez forts pour en supporter l'action. « Je ferai monter, disait-« il, de l'eau à 500 ou 1000 pieds de hauteur, si « vous pouvez m'indiquer le moyen d'avoir des « vaisseaux d'une matière assez solide pour résister « à un poids aussi énorme que celui d'une colonne « d'eau de cette hauteur; mais du moins ma machine « élève aisément un plein tuyau d'eau à 60, 70, 80 « pieds. Puis, mettant en parallèle cet effet de sa ma-

(1) « Dans le *Miner's friend*, où Savery décrit l'invention « comme lui appartenant, il traite particulièrement des roues « à eau, propres à donner l'impulsion aux bateaux ou aux bâ-« timents, comme cela a lieu aujourd'hui dans nos bateaux à « vapeur. D'après cela on peut voir que la navigation par la « vapeur, que l'on s'accorde à regarder comme une des plus ré-« centes applications de la force de la vapeur, n'est pas du tout « une invention nouvelle, mais qu'elle est presque aussi an-« cienne que celle de la machine elle-même. » (Millington.) Cependant on ne pourrait pas tirer cette conséquence des expressions même de Savery: car nulle part dans son *Miner's friend* il ne parle de l'application de sa machine pour faire marcher les bateaux, mais bien pour pomper l'eau des navires. Après avoir exposé le projet d'élever l'eau d'un étang par le moyen de sa machine, pour la faire retomber sur une roue à eau qui ferait aller un moulin, il fait connaître les différentes manières de faire marcher les moulins; puis il dit, p. 28:

chine avec celui d'une machine à bras, il ajoute : « J'ai vu dans le Cornouaille une machine à trois « corps de pompe, chacun d'environ 18 pieds de long, « fournissant un jet de 3 pouces et demi d'eau, qui « coûtait 42 schellings (52 francs) par jour, de « main d'œuvre, non compris l'user des machines ; « chaque pompe était mue par quatre hommes tra- « vaillant 8 heures par jour à trente sous par

« Si je voulais m'étendre sur ce sujet, et vous entretenir non « seulement de toutes les machines différentes que j'ai vues « ou dont j'ai entendu parler, mais encore de celles qu'avec « de l'encouragement on parviendrait à faire aller par un « courant d'eau continu et le mouvement circulaire d'une « roue à eau, il me faudrait écrire un énorme volume. » Ceci s'applique à un ancien procédé reproduit par Savery et mis en pratique plusieurs siècles avant lui, pour faire aller les bateaux de passage par le mouvement d'une roue à eau. Le second volume de *Harri's Lexicon technicum*, publié en 1710, donne le dessin en grand de ce mécanisme : dans cette figure les roues à eau sont placées de chaque côté du bâtiment, comme dans la construction de nos bateaux à vapeur modernes, avec cette différence que ces roues ne sont pas mues par la vapeur. Voici quel est le mécanisme. Une lanterne fixée sur l'axe des roues à eau engrène dans une roue placée sur le chapeau du cabestan ; les barres du cabestan, manœuvrées à la manière ordinaire, mettent les roues en mouvement. Ce mécanisme est exactement semblable à celui décrit par feu M. Robertson Buchanan, dans son *Traité des bateaux à vapeur*, comme étant en usage à un passage de bacs près de New-York, avec cette légère différence que les barres de cabestan sont mues par des chevaux au lieu d'hommes.

« homme, et ils étaient obligés de se reposer au « moins le tiers du temps. Aussi je réponds que la « machine nouvelle, avec 16 sous de dépense, « vous fournira autant d'eau que vous en auriez « pour 25 sous avec vos anciennes machines des « mines à charbon, ce qui fait une économie de « 33 1/3 pour 100. Quelle somme gagnée en un an « dans un grand établissement! Et il y a des en- « droits où l'on dépense, pour tirer l'eau des mines « seulement, 3, 6 et même 8000 liv. sterlings, ou- « tre les frais de réparations des machines de toute « espèce, la nourriture des chevaux, etc., etc. (1) »

Savery, dans son *Miner's friend*, ne donne pas les proportions de ses machines : il dit seulement que, pour une machine propre à élever une colonne d'eau de 60 pieds de haut et de 3 pouces et demi de diamètre, il faut un foyer de 20 pieds de profondeur et de 14 à 15 pouces de largeur ; la figure qui est dans l'ouvrage n'indique même pas les proportions exactes des pièces. Bradley, dont le nom est très connu et qui était professeur de botanique à Cambridge, donne la description (2) d'une petite machine avec un seul récipient, faite par Savery

(1) Voy. le *Miner's friend*.

(2) Voy. *New improvement of planting and gardening, both philosophical and practical.* (Nouvelle manière perfectionnée, théorique et pratique, de planter et cultiver les jardins. 1717.)

en 1711, pour M. Ball de Kensington. Elle existait du temps de Switzer, qui dit que c'était la mieux proportionnée de toutes celles qu'il avait vues.

MACHINE A SIMPLE EFFET DE SAVERY.

Le tuyau *a* dans la fig. VIII a 15 pieds de long, à compter de la surface de l'eau jusqu'à la plate-forme sur laquelle repose le récipient *b*. L'eau s'élève à cette hauteur par suite de la pression de l'atmosphère. Le réservoir est placé à 40 pieds environ au-dessus du récipient. Cette colonne d'eau était élevée par l'élasticité de la vapeur. Le tuyau *d* a trois pouces de diamètre, et le tuyau d'admission *e* environ un pouce d'ouverture; le récipient contient 13 gallons et la chaudière 39. Un tuyau à robinet se terminant en entonnoir permet d'alimenter la chaudière d'eau sans arrêter l'action de la machine.

Lorsque cette machine était en action, elle faisait monter cinquante deux gallons d'eau par minute, c'est-à-dire quatre fois le contenu du récipient, et son effet était bien plus grand à proportion que celui des machines à double récipient. « Le prix d'établissement d'une semblable machine « était, dit Switzer, de cinquante livres sterling « à peu près, à ce que m'a dit l'ingénieux auteur « lui-même, et la quantité de charbon nécessaire

« pour la faire aller était d'environ un demi-peck, « que l'on renouvelait six ou huit fois par vingt « quatre heures. En supposant qu'il en faille un bois- « seau, qui ne coûterait pas plus de vingt-cinq sous « à Londres (et dans beaucoup d'autres villes il est « à meilleur marché), la dépense du charbon est, « comme on voit, bien peu considérable comparée à « ce que coûtent des chevaux qu'il faut changer « deux ou trois fois par jour. Le plus grand repro- « che qu'on puisse faire à cette machine, quant à la « dépense, est le tort qu'on a de faire le feu en « plein air et sous un trépied, parce que la chaleur « se perd en grande partie, et ne peut pas être aussi « forte que lorsqu'elle est concentrée dans un petit « espace : par conséquent, il doit se faire une plus « grande consommation de bois et de charbon que « quand elle est resserrée, ce qui fait, je pense, qu'il « vaut mieux que le feu soit renfermé dans un four- « neau que sous une figure sphérique dans un lieu « ouvert. (1) »

La manière d'opérer de cette machine est la même que celle de la machine représentée par la fig. VI. La vapeur, après avoir passé de la chaudière *c* dans le récipient *b*, se condense lorsque l'on tourne le robinet *f*, qui laisse couler l'eau froide sur le récipient à l'extérieur, en même temps que le robinet *g* fermé intercepte le passage de la va-

(1) Voy. Switzer's *System of hydrostatics.*

peur. Il en résulte un vide dans le récipient : alors la pression de l'atmosphère fait monter l'eau du réservoir par le tuyau *a*; elle soulève et traverse une soupape et remplit le récipient *b*. On ferme de nouveau le robinet *f* et l'on tourne le robinet *g* pour rétablir la communication entre la chaudière *c* et le récipient *b* : l'élasticité de la vapeur force alors l'eau du récipient *b* de monter par le tuyau *d*; la soupape *h*, s'ouvrant de bas en haut, la laisse monter et l'empêche de retomber. Lorsqu'on a rempli encore une fois de vapeur le récipient, on ferme le robinet *g*, et l'on ouvre le robinet d'eau froide ou de condensation *f*, qui condense la vapeur et forme le vide; puis la pression de l'atmosphère agit encore pour faire monter l'eau du réservoir dans le récipient par le tuyau *a*; cette eau est ensuite forcée de monter par le tuyau *d*, par l'effet de l'élasticité de la vapeur, et ainsi de suite successivement.

Il fallait un terme de comparaison pour donner une notion exacte de l'effet de cette nouvelle machine : Savery introduisit l'expression *force de chevaux*, qui a été adoptée généralement. On employait un certain nombre de chevaux pour élever une quantité donnée d'eau à une certaine hauteur : ainsi une machine à vapeur de la construction de Savery s'appelait une machine de la force d'un, ou de deux, ou de trois chevaux, parce qu'elle élevait l'eau qu'on avait élevée jusque alors

en employant un, ou deux, ou trois chevaux. (1)

Nous n'avons aucun renseignement sur les données d'après lesquelles Savery fit le calcul des proportions des diverses parties de ses machines ; mais nous avons tout lieu de croire, et nos conjectures à cet égard sont fondées sur quelques circonstances que nous exposerons plus tard, qu'elles ont été déterminées plutôt après plusieurs tâtonnements que par le calcul.

ROUE A FEU D'AMONTONS.

Tandis que Savery s'appliquait à perfectionner ses machines et à les répandre en Angleterre,

(1) « Lorsqu'une machine élève autant d'eau que deux « chevaux travaillant ensemble pendant le même temps « pourraient le faire, comme ces deux chevaux seraient né« cessairement relayés, et que, pour obtenir constamment « le même résultat, il faudrait employer dix ou douze che« vaux, je dis qu'une semblable machine fait l'ouvrage ou « le travail de dix à douze chevaux. (*Miner's friend.*) « C'est là la véritable mesure de la force d'une machine « comparée avec la force des chevaux. »

Les ingénieurs modernes, en partant du même point de comparaison, ont une autre manière de faire l'estimation ; et ils prétendent qu'une machine a la force de cinquante chevaux lorsqu'elle peut élever en huit heures autant d'eau que pourraient le faire cinquante chevaux qui travailleraient le même laps de temps tous les jours ; mais comme la machine peut travailler pendant vingt-quatre heures de suite, il faudrait alors cent cinquante chevaux par jour, pour donner la même quantité d'eau, et ce serait, à la manière de Savery, une machine de la force de cent cinquante chevaux.

Amontons, membre distingué de l'académie des sciences, travaillait à des expériences sur la vapeur et sur l'air; en 1699, il présenta à cette société savante la description d'une machine de son invention, qu'il appelait *roue à feu* (1). La seule inspection de la fig. IX en donnera une idée assez précise.

Cette roue à feu se compose d'un tambour dont le diamètre est divisé en quatre compartiments ou anneaux circulaires concentriques. Le cercle le plus excentrique est divisé à la circonférence en douze chambres, *A*, *B*, *C*, *D*, etc., toutes hermétiquement fermées et n'ayant aucunes communications entre elles. La seconde portion du diamètre est ouverte, et sert à isoler la série extérieure des chambres de la série correspondante, pratiquée dans la troisième portion de la roue et indiquée par les lettres *a*, *b*, *c*, *d*, etc. Ces chambres communiquent l'une avec l'autre par le moyen de soupapes qui s'ouvrent toutes dans le même sens de bas en haut. La portion intérieure du diamètre est remplie de tuyaux, ainsi que l'axe de la roue *z*, sur lequel elle tourne. *W* est une citerne remplie d'eau froide, dans laquelle plonge la partie inférieure de la roue. La position du foyer et la manière dont la flamme agit sur la surface extérieure de la

(1) Voy. *Mémoires de l'Académie des sciences*, année 1699; voy. aussi Leupold, *Theatrum machinarum*. Leipsick, 1724, tab 53, fig. 2.

première série de chambres seront faciles à comprendre en se reportant à la fig. IX. *X* est une cheminée par où s'échappent la fumée et la vapeur échauffées, lorsqu'elles ont cessé d'être en contact avec la circonférence de la roue.

La série extérieure des chambres *A*, *B*, *C*, *D*, etc., communique avec les chambres intérieures *a*, *b*, *c*, *d*, etc. Par le moyen des tuyaux 1, 2, 3, 4, etc., le tuyau 1 met en communication la chambre d'air *A* avec la chambre intérieure d'eau *a*; le tuyau 2 met en communication la chambre d'air *B* avec la chambre d'eau *b*, et ainsi de suite d'une série à l'autre. Les tuyaux numérotés 1, 2, 3, etc., entrent dans un autre tuyau fermé par un bout et ouvert par l'autre; le bout ouvert du tuyau *contenant* entre dans la chambre d'eau, et met ainsi en communication les séries intérieure et extérieure des chambres.

Supposons maintenant les chambres *a*, *b*, *m*, de la seconde série presque pleines d'eau, et le côté extérieur de la chambre *A* chauffé par le feu qui est au-dessous: l'air qu'elle contient, étant dilaté par la chaleur, pénètre par le tuyau 1 dans la chambre *a*, qui est pleine d'eau; il presse la surface de cette eau et la fait monter dans les chambres *b* et *c* (les soupapes ouvrant de droite à gauche dans notre figure empêchent l'eau de pénétrer dans la chambre *m*) et dans les chambres *d* et *e*, suivant le dégré de dilatation de l'air. L'eau contenue dans *b*, *c*

et *d*, donne à ce côté de la roue une plus grande pesanteur. La chambre d'air *A* descend conséquemment dans la position de *M*, et la chambre *B* se trouve à son tour exposée à l'action du feu. Cette chambre d'air communique avec la chambre d'eau par le tuyau n° 2, la chambre *b* étant dans la position de *a*. L'air de la chambre *B*, étant dilaté par la chaleur, va par le tuyau n° 2 presser l'eau de *b* et la refouler dans *c*, *d*, etc., et changer ainsi le point le plus pesant. La chambre à air *C* et toutes les autres chambres de la série viendront successivement recevoir l'impression du feu, ce qui produira un mouvement continu. Lorsque la surface de la chambre *C* passe devant le feu, la chambre *A* se trouve alors (dans la position de *L*) baignée dans l'eau froide de la citerne *W*, qui la refroidit et condense l'air qu'elle renferme. L'air chaud des chambres *B* et *C* se condense également lorsqu'à leur tour elles passent dans l'eau, et comme ce mouvement se continue, elles viennent de nouveau se mettre en contact avec le feu. Cette dilatation de l'air, jetant l'eau d'un seul côté de la roue, change successivement de place le centre de gravité, et engendre un mouvement de rotation qu'on peut appliquer aux besoins ordinaires.

Amontons donna un diamètre de 12 pieds au cercle intérieur, ou cercle des chambres à eau, et il les fit de 2 pieds de profondeur ou de largeur, contenant environ 754 pieds cubes d'eau, ou

13,202 livres, poids français. Ce poids, exerçant suivant la tangente son action sur un cercle supposé passer par le centre des chambres à eau, déterminerait, d'après son calcul, une révolution en 35 secondes, et aurait la force de 39 chevaux.

La *roue à feu*, quoique extrêmement ingénieuse, est beaucoup trop compliquée pour les besoins pratiques, même en admettant qu'il fût possible de produire dans les chambres d'air, avec la vitesse convenable, la raréfaction voulue pour élever la colonne d'eau, et que le service des soupapes fût praticable ou immanquable. L'inventeur représente l'action de sa roue comme l'effet de la raréfaction de l'air; cependant, en pratique, sa puissance résulterait de la dilatation de la vapeur : car il n'y a pas de génie capable, dans une semblable combinaison, d'empêcher la vapeur formée dans les chambres d'eau par l'air échauffé d'arriver par les tuyaux dans la série extérieure des chambres d'air; et c'est précisément ce qui donnerait à un semblable appareil la puissance que ne pourrait pas lui donner évidemment la dilatation de l'air seule, ainsi que l'inventeur l'a prétendu.

APPAREIL DE DALESME.

Dans le mois d'août 1705, M. Dalesme, si bien connu comme auteur de l'ingénieux et admirable procédé de consumer la fumée en renversant la

flamme, offrit à une compagnie de Paris d'élever l'eau par le moyen de la vapeur s'échappant d'un appareil semblable à un éolipyle. Dans ses expériences il employa l'élasticité de la vapeur pour faire jaillir l'eau à une grande hauteur. M. de Prony, en témoignant le regret de n'avoir pas connu les détails de la méthode de Dalesme, dit, dans sa *Nouvelle architecture hydraulique*, vol. 2, p. 90, qu'il est possible que son modèle se trouve dans la collection des machines de l'académie, mais qu'on ne peut pas s'en assurer jusqu'à ce que cette collection soit remise en ordre (1).

SUITE DES TRAVAUX DE PAPIN.

Le docteur Papin, dont nous avons déjà fait connaître le procédé ingénieux pour faire le vide sous le piston d'une pompe pneumatique, travaillait encore, en 1698, à faire des expériences sur la vapeur, aux frais de l'électeur de Hesse. Lorsqu'il eut abandonné ces recherches, qui n'avaient produit rien d'utile, Papin en communiqua le résultat, accompagné de réflexions, à plusieurs des savants avec qui il était en correspondance, entre autres au célèbre Leibnitz. Dans la réponse qu'il fit à Papin, ce dernier disait avoir eu aussi l'idée d'employer la force expansive de la vapeur. Dans un voyage que

(1) Il y a trente ans que M. de Prony écrivait cela.

Leibnitz fit plus tard en Angleterre, en 1705, ayant eu l'occasion d'examiner quelques unes des machines exécutées par Savery, il envoya le dessin d'une de ces machines, avec la description, à Papin, pour avoir son opinion sur le mérite de l'invention: Papin montra la lettre et le dessin à l'électeur, son protecteur. « Pour obéir au prince, Papin (nous copions « ses expressions) reprit ses expériences, dans le but « de terminer les appareils qu'il avait commencés « avec tant de succès afin d'élever l'eau par le moyen « du feu. » Le résultat de ce travail fut la publication faite par le docteur d'un mémoire sur une nouvelle méthode d'élever l'eau par la force du feu, daté de Cassel, 1707, et dédié à l'électeur. Dans cet écrit Papin annonce que ce n'est qu'après beaucoup d'opérations manquées qu'il est parvenu à perfectionner son invention; et, par un rafinement de flatterie, il dit que la description de sa machine a été imprimée non pour retrancher quelque chose au mérite de Savery (car il avoue que Savery avait trouvé un autre procédé sans avoir eu connaissance de ses expériences), mais afin que tout le monde sût que c'était à l'électeur de Hesse qu'appartenait la première idée et la construction de cette excellente machine. Il est à remarquer que, dans le corps du mémoire, Papin semble s'appliquer plutôt à démontrer la supériorité de son appareil sur celui de son rival qu'à établir ses droits à la priorité d'invention. Ses quarante pages de

calcul prouvent en faveur de son talent et de ses connaissances ; mais elles ont manqué leur but qui était de persuader aux praticiens d'adopter cette machine.

MACHINE DE PAPIN. (FIG. X.)

a est une chaudière de cuivre qui communique au moyen d'un tuyau *z* avec un cylindre *i*, qui forme le corps de la pompe. Ce cylindre n'a pas de fond; il est arrondi à sa partie inférieure, et se continue en un tuyau courbe *x*, aboutissant à un tuyau vertical *o q*. Celui-ci est fermé à son extrémité inférieure par une soupape s'ouvrant de bas en haut ; sa partie supérieure pénètre dans le cylindre *r r*, et s'élève à une très petite distance de la paroi supérieure. Ce cylindre est hermétiquement fermé ; un tuyeau *w* garni d'un robinet *p* est adapté à son fond. Sur le tuyau courbe *x* est un autre tuyau vertical *m*, qui se termine en entonnoir ou réservoir *k*; il porte un robinet en *m*. Le tuyau *z*, communiquant de la chaudière au corps de pompe, est fermé par un robinet *c*; il reçoit un petit tuyau vertical *e*, également muni d'un robinet. *F* est une soupape de sûreté de l'invention de Papin, qui met à l'abri du danger auquel on était sans cesse exposé de voir éclater la chaudière par la pression de la vapeur qui s'y produisait. Cette soupape est terminée par une tige verticale sur laquelle pèse un levier ; celui-ci est chargé à son ex-

trémité d'un poids *f*, calculé de manière qu'il empêche la soupape de se lever tant que la vapeur n'a qu'une certaine force ; mais si la vapeur acquiert une plus grande puissance, avant qu'elle soit capable de faire éclater la chaudière, elle détermine l'ouverture de la soupape et s'échappe jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli. Le feu est en *b*. Dans le cylindre *i* est un piston ou flotteur *n*, fait de légères plaques de métal, ayant la forme d'un cylindre creux et flottant sur la surface de l'eau. *d* est un tuyau à robinet fixé au corps de pompe *i*.

Lorsqu'il s'est produit une quantité suffisante de vapeur dans la chaudière *a*, on ouvre le robinet *c* pour permettre son introduction dans le corps de pompe *i*, que nous supposerons presque plein d'eau ; la vapeur presse, par son élasticité, sur le flotteur *n*, et le fait descendre dans le cylindre *i*, ce qui force l'eau qui est dessous à pénétrer par le tuyau courbe *x* dans le tuyau droit *o q*, en soulevant la soupape *o* : elle s'élève ainsi dans *o q* jusqu'à son extrémité supérieure, d'où elle tombe dans le récipient *r r*. On ouvre alors le robinet *p*, et l'eau pressée par l'air comprimé dans la partie supérieure du cylindre tombe avec force sur les aubes *u*, *s*, d'une roue qu'elle fait tourner. Le mouvement est ensuite communiqué par des moyens ordinaires à des pompes ou à toute autre machine. Lorsque le flotteur *n* est parvenu au point *N*, on ferme le robinet *c* pour arrêter l'introduction de la vapeur dans le

corps de pompe ; en même temps on ouvre le robinet *d* pour laisser échapper la vapeur qui est au-dessus du flotteur, et le robinet *m*, par lequel l'eau qui se trouve dans l'entonnoir *k* tombe dans le tuyau courbe *x*; elle pénètre par le bas dans le corps de pompe *i*, et fait monter à la hauteur nécessaire le flotteur *n*. La soupape en *o*, s'ouvrant de bas en haut, empêche la colonne d'eau *o q* de redescendre. Lorsque le flotteur s'est élevé au point nécessaire, on ferme les robinets *d* et *m*, et on ouvre le robinet *c*. La vapeur passe de nouveau de la chaudière dans le cylindre, presse le flotteur *n*, et fait monter l'eau qui est dessous dans le réservoir *r r*, et lorsqu'il est descendu en *N*, on ferme le robinet *c* et on ouvre de nouveau *m* et *d*, à l'effet de remplir le cylindre d'eau, d'élever le piston ou flotteur, et de chasser la vapeur à l'extérieur; et en continuant toujours de la même manière, on entretient une chute d'eau extrêmement rapide par le tuyau *w* sur les aubes de la roue à eau *u*, *s*. Le tuyau et le robinet *e* servent à faire échapper l'air de la chaudière lorsque la vapeur commence à se produire. *t* est un tuyau semblable avec son robinet pour vider l'eau du cylindre et du tuyau *x*.

Il ne paraît pas toutefois que Papin ait adopté le flotteur pour empêcher la condensation de la vapeur, en lui ôtant tout contact avec l'eau, car il était physiquement impossible de produire ce contact dans son appareil. Son intention, bien diffé-

rente de celle que nous avons indiquée, a été généralement dissimulée par tous les écrivains anglais qui ont décrit son invention. Un des projets de Papin était d'augmenter la force de la vapeur en introduisant une masse de fer rouge dans le corps de pompe; ce fer chaud se plaçait dans un tube ajusté au flotteur, et fermé par le bout pour empêcher le contact de l'eau; *n n* est une section du flotteur; *h* est le tuyau dans lequel le fer chaud est placé; ce fer est garni d'un anneau pour le retirer quand il se refroidit; *g* est une ouverture dans le couvercle du cylindre par où on introduit ou retire le fer : une soupape à levier, maintenue en place par le poids suspendu à l'extrémité, sert à fermer cette ouverture. Cette manière de chauffer offre, suivant M. de Prony (1), tant de difficultés, qu'il est douteux qu'on puisse la mettre en pratique. Parfaitement d'accord avec M. de Prony sur ce point, nous ne nous permettrons cependant pas de condamner, avec Robison, *la machine entière*, comme mauvaise et contraire à toutes les notions admises et aux règles de l'art, tandis que, dans le fait et en réalité, elle n'est rien moins que cela. Le procédé d'élever le piston et de produire un écoulement d'eau continuel par le tuyau *p* sont certainement deux inventions claires et ingénieuses tout à la fois. On peut regarder, aujourd'hui même, l'intro-

(1) Voy. *Nouvelle Architecture hydraulique*, v. 2, p. 200.

duction de la *soupape de sûreté* comme un des perfectionnements les plus importants qui aient été faits à l'appareil à vapeur ; et c'est faute de cette soupape que la machine de Savery est restée si long-temps sans être généralement employée, et que le public a été privé des heureux résultats qu'elle promettait.

« Bossut (1), continue le professeur, a dit qu'on « était bien certainement redevable à Papin de la « première idée de la machine à vapeur; qu'il avait « non seulement inventé le digestif, mais encore pu- « blié, en 1695, un petit ouvrage descriptif d'une « machine propre à élever l'eau, dans laquelle les « pistons sont mis en mouvement par la vapeur de « l'eau alternativement dilatée et condensée. Mais « la vérité est que la *première* publication de Papin « eut lieu en 1707; que son piston n'est autre qu'un « flotteur placé à la surface de l'eau, et servant à « empêcher la perte de la vapeur par condensation ; « que, dans son système, ce n'est pas la condensa- « tion de la vapeur qui produit, comme cela a lieu « dans la machine à vapeur, le retour du piston : « c'est l'introduction de l'air en dessus du piston et « d'une colonne d'eau au-dessous qui détermine ce « retour. » Nous ferons observer que Bossut fait évidemment allusion au projet de Papin tendant à employer la vapeur au lieu de la poudre, dont le

(1) Voy. *Traité d'hydrodynamique*, pag. 306.

rapport fut publié par l'inventeur, pour la seconde fois, en 1695; tandis que le docteur Robison prétend que Bossut parle de la machine à élever l'eau par l'élasticité de la vapeur, dont il n'existait pas de description imprimée, si ce n'est en 1707, onze ans après!

L'opinion émise par le professeur Robison, que le flotteur qu'employa Papin dans sa machine décrite en 1707 (fig. X) ne lui donne aucun droit de priorité dans l'invention du piston, est juste et incontestable; mais il ne s'ensuit pas de là qu'un droit antérieur pour une invention totalement différente soit égalememt mal fondé; et il se trouve que c'est à cause d'une invention plus ancienne, qui est aussi rapportée exactement par le docteur lui-même, que Bossut et tous les autres accordent à Papin le mérite d'avoir donnée l'idée de la *machine atmosphérique*. Les ingénieurs français les plus célèbres, en décrivant la machine qui porte le nom de Savery, ont rendu amplement justice à ce dernier comme à son véritable inventeur (1).

(1) « Belidor s'explique à ce sujet avec beaucoup de fran-« chise. Quoique le marquis de Worcester, dit-il, ait été, à « son avis, le premier en Angleterre qui, dans un petit traité « intitulé *The Century of inventions*, ait décrit, en termes « inintelligibles, une machine propre à élever l'eau par le « feu, cependant nous ne pouvons nier que le capitaine Sa-« very n'ait été le premier qui ait exécuté ces sortes de « machines en Angleterre : c'est ce qu'attestent un grand

Dans toute la discussion à laquelle s'est livré le docteur Robison sur l'invention de Papin, sa franchise et sa générosité accoutumées semblent l'avoir abandonné; et ailleurs, en parlant d'une machine reconnue par l'inventeur même comme impraticable, il condamne sans réflexion une construction perfectionnée de la même machine, qui, par sa simplicité et son importance, peut figurer à côté de la machine à vapeur elle-même. Il est vrai que, du temps du professeur, le procédé de Papin, de communiquer la puissance et le mouvement à de grandes distances, n'avait pas encore trouvé son application aux choses utiles; mais ayant été récemment introduit dans un mécanisme

« nombre de lettres qui ont été écrites à cette occasion par « les membres de la société royale. Il en est une, entre autres, « où l'on cite un M. Newcomen comme ayant contribué beau- « coup à l'amener au degré de perfection où elle est à présent. « Une nouvelle preuve que cette machine a pris naissance en « Angleterre, et qu'elle surpasse tout ce qui a été tenté en « France et en Allemagne, c'est que tous les machines à feu « qui ont été construites dans l'étranger l'ont été par des An- « glais. » (*Arch. hydraulique*, tom. 2, pag. 300.) Gensanne, inventeur d'une machine allant seule et destinée à être placée sur la machine de Savery, commence la description de son modèle en disant que son appareil est un perfectionnement d'une machine que tout le monde sait avoir été inventée par M. Savery, et exécutée en grand à Londres et dans d'autres parties de l'Angleterre. Voy. *Machines approuvées*, tom. 7, pag. 280.

destiné à un service national très important, il produisit des effets admirables. C'est cependant une de ces inventions que le docteur Robison qualifie d'absurdes, de mauvaises et d'impraticables. « Les idées de Papin sur les mouvements naturels « étaient toujours vagues et imparfaites, dit le doc- « teur; il n'était ni physicien, ni mécanicien (1). » Nos praticiens sont plus justes à l'égard de Papin : ils mettent cet ingénieux Français au premier rang des mécaniciens savants (2).

(1) Voy. *Mech. phil.*, vol. 2, pag. 49.

(2) Nous n'aurions pas relevé des erreurs si palpables si elles n'avaient été commises par un écrivain dont l'ouvrage fait autorité sur la matière, et si on ne les avait pas laissées subsister sans correction ni observation dans la nouvelle collection de ses écrits sur la mécanique, ouvrage qui, par la modicité du prix et la commodité du format, doit trouver plus de lecteurs que lorsqu'il faisait partie de l'*Encyclopédie britannique.* Cette collection a déjà servi, parmi les écrivains modernes, à propager des notions et des assertions inexactes. Voici comme M. Farrey, après avoir pris beaucoup de peine pour établir l'ordre chronologique des machines de Papin, s'exprimait en 1817, en parlant de ses inventions : « Nous avons copié dans Belidor la figure de la « machine de Papin, afin que nos lecteurs puissent la com- « parer avec celle du capitaine Savery, et apprécier l'auto- « rité d'après laquelle M. Bossut a dit qu'on devait incon- « testablement à Papin la première idée de la machine à « vapeur, qu'il avait inventé le digestif, et de plus publié, « en 1695, un mémoire descriptif d'une machine à élever « l'eau, dans laquelle c'est la vapeur de l'eau bouillante al-

MACHINE DE NEWCOMEN.

L'avantage que présentait le machine de Savery, de pouvoir être employée à remplacer le travail des bras, était contrebalancé, dans l'opinion publique, par les dangers qu'il y avait à courir d'une explosion de la chaudière ; et pendant la durée de son brevet on ne voit pas qu'il ait profité pour sa machine de la soupape de sûreté de Papin. J'ai su, dit Desaguliers, que le capitaine Savery, dans les ouvrages hydrauliques des bâtiments d'York, avait produit de la vapeur dont la pression était

« ternativement dilatée et condensée qui fait agir les pistons.
« La vérité est (c'est M. Farrey qui parle) que la publica-
« tion dans laquelle Papin reconnaît que l'invention est due
« à Savery eut lieu en 1707. Il avait bien publié avant cela
« dans le journal *Acta eruditorum* plusieurs inventions dans
« lesquelles il faisait usage de cylindres et de pistons ; mais
« c'était la poudre et l'air qui devaient les faire mouvoir,
« et non la vapeur ! » (Voyez *Rees' cyclopedia*, art. *Steam engine.*) De ce que M. Farrey ne cite pas l'*Encyclopédie britannique* comme son autorité, et qu'il n'indique pas le passage comme une citation, il faut considérer ce qu'il dit comme l'expression de sa propre opinion. Ce qu'il ajoute au dire du docteur ne fait que le rendre plus contradictoire. M. Farrey conteste-t-il le fait rapporté par Bossut? appelle-t-il la machine de 1695 machine pneumatique? veut-il dire que le livre de Papin sur la machine à vapeur ait été publié en 1707? Le rapport sur un appareil à vapeur,

huit ou dix fois plus forte que celle de l'air ordinaire, et qu'alors sa chaleur était si grande qu'elle fondait la soudure ordinaire, et sa force telle qu'elle brisa et ouvrit sa machine dans différentes jointures, en sorte qu'il fut forcé de les faire souder avec de la soudure forte. On a cherché maintes fois à fortifier les chaudières, en les garnissant intérieurement de rayons, mais toujours sans succès : de sorte que le seul usage qu'on put faire avec sécurité de l'appareil de Savery fut pour élever l'eau à 30 ou 32 pieds de hauteur, au plus. Cette machine dut donc être abandonnée comme puissance pour épuiser l'eau des mines, but où tendaient tous les efforts de Savery.

. . . . .

rédigé par Papin, portait la date de 1707; mais ce dernier est-il celui dont parle Bossut ? Et puis Papin ne pouvait pas accorder l'invention à Savery, puisqu'il la donne comme appartenant à l'électeur de Hesse. Papin ne dit nulle part, dans son livre, que sa machine soit la même pour le principe ou pour l'action que celle de Savery; mais il réclame, et à juste titre, l'invention d'un appareil totalement différent : excepté le mode de refouler l'eau dans un vaisseau plein d'air au moyen de l'élasticité de la vapeur (procédé qui n'appartient ni à lui ni à Savery), il n'y a aucun trait de ressemblance entre les machines. Dans le même article on lit ces mots. *Première machine à vapeur* avec piston, faite par Papin en 1707. Dans un autre endroit il est dit : « La machine de Papin est bien inférieure à celle de Savery, ce n'est « qu'un retour à l'idée du marquis de Worcester. » Ceci ne peut être admis qu'en comparant la machine de Papin à celle que construisit M. Farrey d'après les descriptions du marquis.

Néanmoins, l'introduction de ces machines dans les pays de mines produisit un très grand bien, celui de diriger l'attention vers les propriétés utiles de l'élasticité de la vapeur. Une foule d'intérêts et d'opinions opposés ou favorables à l'adoption de ces appareils firent naître des discussions dont l'effet fut de familiariser la classe ouvrière des mineurs avec les lois les plus ordinaires de l'élasticité de la vapeur et avec les effets de sa condensation.

Parmi ceux qui furent frappés de l'importance immense de la machine de Savery, comme développant une puissance seule capable de préserver une vaste propriété de la ruine inévitable qui la menaçait, ruine que devait entraîner la difficulté toujours croissante d'opérer l'épuisement de l'eau dans les mines, on cite Thomas Newcomen, serrurier, et John Cawley, vitrier, tous deux de la ville de Dartmouth. A une époque aussi reculée, il est impossible de déterminer quelle part Cawley eut dans les expériences et dans la découverte qui en fut la suite; mais, d'après des papiers du docteur Hooke, il paraît que Newcomen avait été en correspondance avec ce savant relativement à un projet qu'il avait conçu de produire une puissance motrice à l'aide d'un procédé analogue à celui de la *pompe pneumatique* de Papin. On a trouvé dans les papiers de Hooke des brouillons d'une lettre adressée à Newcomen,

dans laquelle il cherchait à le dissuader de faire une machine d'après ce principe. Dans cette lettre on trouve cette phrase remarquable : « S'il (Papin) était « capable de faire *le vide à volonté* dans le second « cylindre, votre affaire serait faite. » Le docteur Hooke connaissait la méthode de Papin, consistant à produire le vide par la vapeur sous le piston ; et dans des discours lus devant la société royale, il chercha à en démontrer l'impossibilité. On a peine à croire que Newcomen n'ait pas eu connaissance de ce procédé. Quoi qu'il en soit, l'effet de la condensation de la vapeur et sa puissance élastique étaient généralement connus à cette époque, et il est probable que le succès des expériences de Savery suggéra à Cawley et Newcomen des réflexions qui leur firent concevoir la possibilité de mettre à exécution le projet de Papin. Ils firent donc l'expérience d'introduire de la vapeur sous *un piston mobile pouvant glisser dans un cylindre ; puis, lorsque le piston fut aussi haut que possible, ils firent le vide en condensant la vapeur par le moyen d'une aspersion d'eau froide sur la partie extérieure du cylindre : alors le poids de l'atmosphère, n'étant pas contrebalancé, fit descendre le piston jusqu'au fond du cylindre*. Telle fut la première forme de la machine atmosphérique, la plus simple et la plus puissante machine qui ait jamais été construite.

La manière d'effectuer le vide par la condensa-

tion de la vapeur avait été employée dans la machine de Savery, et la propriété de ce procédé lui était assurée par un brevet (1). En conséquence, il fut fait un arrangement entre Savery, Newcomen et Cawley; ils s'associèrent ensemble, et tous trois partagèrent le privilége de la nouvelle machine faite en 1705. « Les inventions les plus utiles qui aient « été faites dans les arts, dit Switzer (2), en subissant « l'épreuve du temps, subissent aussi des améliora- « tions, et ce fut l'ingénieux mécanicien (M. New- « comen) auquel nous sommes redevables de cette « nouvelle invention qui, avec autant de modestie « que de jugement, devait encore la perfectionner. « On regarde généralement sa découverte comme

(1) Savery toutefois réclame la propriété de l'invention; mais Switzer, qui les connaissait personnellement l'un et l'autre, affirme que c'est Newcomen qui était l'inventeur. « Ennemi par principes (il était quaker) de toute contesta- « tion, il se contenta d'en partager l'honneur et les profits « avec Savery. » *Mech. phil.*, t. 2, p. 58. Savery revendiquait seulement le procédé de faire le vide par la condensation de la vapeur, partie essentielle de l'appareil de Newcomen, et non, comme tend à le faire croire l'observation du docteur, l'invention de la machine. Robison traite Newcomen et Cawley de quakers; Desaguliers, dont l'autorité est plus certaine, dit qu'ils étaient anabaptites : erreur bien insignifiante, si le docteur ne s'était pas prévalu des principes de leur secte pour leur faire abandonner à Savery ce qui ne lui appartenait pas.

(2) Voy. *Switzer's Hydrostatics.*

« un perfectionnement de la machine de Savery ;
« mais je sais positivement que M. Newcomen acheva
« sa machine à la même époque à laquelle Savery
« donna la sienne, avec cette seule différence, que
« ce dernier, étant plus près de la cour, avait solli-
« cité et obtenu son brevet avant que l'autre le sût :
« c'est pour cela que M. Newcomen se contenta d'y
« prendre part comme associé. (1) »

Nous avons vu, dans la machine de Savery, que l'effet a lieu de deux manières : 1° par la condensation de la vapeur, le vide se fait dans un récipient où l'eau est forcée de monter par la pression de l'atmosphère ; 2° l'eau est refoulée par la pression directe de la vapeur à une température

(1) « Les auteurs français revendiquent aussi cette machine « comme l'invention de leur compatriote Papin, mais sans « aucune espèce de raison, dit M. Farrey. Papin avait appris, « dans son digestif, à connaître la force expansive de la va- « peur, et il *inventa la manière de faire agir les pistons et « les cylindres* par *le vide et la pression de l'atmosphère.* » (Voilà, ce nous semble, un argument sans réplique qui justifie la prétention de Papin à l'invention de la machine atmosphérique.) « Mais, dira-t-on, il n'est pas le *premier* in- « venteur soit de l'une, soit de l'autre, puisque Otto Guericke « et le marquis de Worcester ont découvert les mêmes choses « long-temps avant ! » Lorsque l'Allemand mouilla les soupapes de sa grossière machine, il est à présumer que c'est avec une pompe aspirante qu'il éleva l'eau qu'il employa : aussi, suivant la logique de M. Farrey, il n'est pas l'inventeur de la pompe pneumatique ; et un ancien, inconnu, qui a ima-

élevée, et avec une tension dangereuse, lorsqu'il faut élever l'eau à plus de 28 ou 30 pieds.

Dans la machine atmosphérique le procédé est totalement différent : la vapeur n'exerce aucune action directe sur l'eau ni sur aucune partie de l'appareil; on ne l'emploie que comme moyen de faire un vide prompt ou instantané au-dessous d'un piston attaché à l'une des extrémités d'un balancier, à l'autre extrémité duquel est suspendue la verge d'un piston de pompe ou plongeur. Par cette construction, la puissance de la machine n'a aucun rapport avec la *tension ou la température* de la vapeur, mais dépend de la dimension superficielle du piston au-dessous duquel arrive la vapeur de la chaudière. Dès ce moment, pour la première

giné la pompe aspirante, devra être considéré comme ayant inventé la pompe pneumatique et la machine atmosphérique dite de Papin. Un aussi pitoyable raisonnement pourrait passer pour de la folie. C'est bien la première fois aussi qu'on a fait au vénérable Ottò Guericke l'honneur de le qualifier d'auteur de l'invention attribuée à Papin de faire le vide par la condensation de la vapeur, invention que M. Farrey donne à Savery dans le même paragraphe ! Plus loin, M. Farrey dit encore : « Il (Papin) n'avait aucuns droits « pour réclamer la découverte de la condensation de la va« peur, découverte faite par Savery, sur laquelle est établie « la machine de Newcomen. » Savery n'a point fait de découverte ; il n'a fait qu'une application nouvelle et très ingénieuse d'une loi de physique bien connue à des machines d'une utilité importante.

fois, on détacha avec succès le cylindre à vapeur *T* de la pompe à eau.

PREMIÈRE MACHINE A VAPEUR DE NEWCOMEN. (FIG. XII.

La vapeur formée dans une chaudière arrivait par le tuyau *q*, à travers le robinet *d*, dans un cylindre *a* au-dessous du piston *S*; ce piston était attaché par sa tige *r* au levier ou balancier *i i*, pouvant se mouvoir sur un axe *v*. Le cylindre *a* était renfermé dans un autre cylindre, de manière à ce qu'un espace concentrique *z z* les séparât. Le cylindre extérieur communiquait par un tuyau *F* à un réservoir *g* contenant de l'eau froide. Un autre tuyau partant de l'extrémité inférieure de ce cylindre descendait dans le puisard ou second réservoir d'eau froide. Le cylindre extérieur et les deux tuyaux qui y aboutissent sont indiqués par des lignes ponctuées.

Le piston étant dans la position indiquée par la figure, et le cylindre *a* étant rempli de vapeur, on ferme le robinet *d* : alors la communication entre le cylindre *a* et la chaudière *b* se trouve interceptée. Ouvrant le robinet *f*, l'eau froide descend du réservoir *g*, par le tuyau *F*, dans l'espace intermédiaire *z z*. Cette eau refroidit le cylindre *a* contenant la vapeur; celle-ci se condense, et il se forme un vide sous le piston *S*. La pression de l'atmosphère, ne rencontrant plus la résistance que lui opposait précédemment la force élastique de la va-

peur, oblige le piston à descendre au fond du cylindre.

Par ce mouvement, le bout du balancier tenant au piston par la tige *r* descend, tandis que l'autre bout, auquel est attachée la tige de la pompe, s'élève, et fait monter l'eau qui est dans le corps de pompe au-dessus du piston.

Maintenant, si nous supposons que toute la vapeur a été condensée par l'eau froide, l'atmosphère pressera sur le piston avec une force égale, pour chaque pouce carré, à 14 $\frac{3}{4}$ livres. Si le piston avait 62 pouces carré, cela ferait un poids d'environ 915 livres tendant à le forcer à descendre ; et s'il n'y avait pas de résistance par le frottement, il s'ensuivrait que dans le même temps un poids égal placé à l'autre bout du balancier, ou bien une colonne d'eau du poids de 915 livres, serait élevée d'une longueur égale à celle dont le piston à vapeur se serait abaissé dans le cylindre (1).

(1) La pression de l'atmosphère est équivalente au poids d'un cylindre de mercure qui aurait pour base la surface du piston et une hauteur de $0^{m},76$ ou de 28 pouces: la pression sur un centimètre carré sera donc un cylindre de mercure ayant 1 centimètre de base et 76 centimètres de hauteur; son volume sera 76 centimètres cubes. Or, comme un centimètre cube d'eau pèse un gramme et que le mercure pèse treize fois et demie plus que l'eau, le poids de la colonne de mercure sera égal à 76×13,5 grammes, ou à 1 ,026.

Le piston étant arrivé au fond du cylindre, on tourne le robinet *d*, qui ouvre de nouveau la communication entre la chaudière *b* et le cylindre à vapeur *a*; mais dans cette machine, la vapeur ayant une force égale seulement à la pression de l'atmosphère, il faut employer une autre force pour faire remonter le piston *S* en haut du cylindre. On se sert à cet effet d'un contre-poids *m*, adapté en *k*, et calculé de manière à faire descendre la tige de pompe et à faire monter le piston à vapeur au point voulu. Pendant cette opération on ferme le robinet *f* et l'on ouvre le robinet *c*: alors l'eau, échauffée par la condensation de la vapeur et contenue dans le cylindre condensateur *z*, s'échappe dans le puits ou citerne *o*; on laisse écouler dans le même récipient, par le tuyau *p*, la petite quantité d'eau qui s'est formée dans le cylindre *a*, par la condensation de la vapeur. Le cylindre étant une seconde fois rempli de vapeur, il faut ouvrir le robinet *f*: alors l'eau coule du réservoir *g* dans *z*, et la vapeur qui est sous le piston se condense de nouveau. La pression de l'atmosphère s'exerçant une seconde fois avec toute sa force, le piston descend et la tige de pompe qui est au bout opposé du levier monte en élevant une colonne d'eau dans le corps de pompe, comme auparavant. Si l'on ferme le robinet *f*, et si l'on ouvre *c* et *d*, le contre-poids *m* tend de nouveau à faire monter le piston *S*. Chacune de ces opérations peut se répéter indéfiniment.

Le foyer en dessous de la chaudière est en *n*, le cendrier en *w*; *x x* sont les conduits de la fumée; *N* est une soupape de sûreté; *l* un robinet jauge ou *d'épreuve*, comme dans la machine de Savery; *u* un mur ou poteau supportant l'axe *v* de la poutre levier *i i*; *t t* tuyau communiquant avec le corps de pompe, dans lequel monte l'eau froide servant à alimenter le réservoir *g*; *q* la bouche du puits ou de la mine d'où l'on veut tirer l'eau; *h* tuyau venant de *g*, qui conduit l'eau sur la face supérieure du piston, pour empêcher que l'air ne passe entre les bords du piston et les parois du cylindre. C'est Newcomen qui le premier fit usage de ce procédé.

Dans cet état de choses, vers la fin de 1711, les associés brevetés firent des propositions pour extraire l'eau d'une des mines de Griff, dans le comté de Warwick; mais elles ne furent pas agréées. En mars 1712, Newcomen, par l'intermédiaire de M. Potter de Bromsgrove, réussit à passer un marché par lequel il s'engageait à élever de l'eau pour le compte d'un M. Back. Après bien des essais laborieux, les associés parvinrent à faire travailler leur machine; mais comme ils n'étaient ni assez physiciens pour connaître les causes premières, ni assez mathématiciens pour calculer l'action des diverses parties de leur machine et les proportions à leur donner, on peut dire que ce fut au hasard qu'ils durent de trouver ce qu'ils cherchaient. Ils étaient embarrassés

au sujet des pompes ; mais, se trouvant fort près de Birmingham, et secondés par des ouvriers aussi ingénieux qu'adroits, ils furent bientôt à même de fabriquer de la manière la plus avantageuse les soupapes pour les pompes, les cliquets et les pistons, dont ils n'avaient auparavant qu'une notion très imparfaite. Il se passa quelque chose de très remarquable dans les premiers jours que leur machine fut en mouvement : ils furent bien surpris de voir tout à coup les coups de piston se succéder avec une plus grande vitesse qu'auparavant. Après en avoir long-temps cherché la cause, ils découvrirent *un trou dans le piston, par lequel il s'introduisait de l'eau froide dans l'intérieur du cylindre, eau qui opérait la condensation de la vapeur; tandis que jusque alors* (1) *la condensation s'était toujours effectuée par suite de l'aspersion faite sur la surface extérieure du cylindre.*

Cette heureuse découverte donna lieu au perfectionnement si important qui consistait à effectuer la condensation par injection, ce qui rendit

(1) « On ne voit pas que le marquis de Worcester ait ja« mais connu l'usage de l'injection, puisque la machine dé« crite par lui n'allait que par la force expansive de la va« peur, tandis que l'injection fut mise en usage dans la ma« chine de Savery dès l'origine, et, d'après toutes les pro« babilités, est un procédé de son invention. » (DESAGULIERS. —Note de M. Watt dans le *Robison's Mech. phil.*, vol. 2, pag. 50.) Il paraît que le respectable auteur des perfection-

inutile et fit supprimer le cylindre extérieur. Depuis lors, le tuyau *F* de la figure XI, qui part du réservoir d'eau froide *g*, vient aboutir au fond du cylindre à vapeur : ainsi, le piston *S* étant au haut du cylindre, et la capacité au-dessous remplie de vapeur, on ouvre le robinet *f*; l'eau froide s'élance en formant un jet et condense la vapeur beaucoup plus rapidement que de l'autre manière ; le vide étant formé sous le piston, la pression de l'atmosphère agit sur celui-ci et le fait descendre comme il a été dit précédemment. *L'eau injectée* mêlée à celle qui est produite par la vapeur condensée va se perdre par le tuyau *p* dans le puisard *o*. Le jeu de toutes les pièces est d'ailleurs absolument le même dans cette machine que dans l'autre. Quelquefois le contre-poids *m* est attaché au balancier, au lieu de l'être à la tige de la pompe, parce que, pour établir l'équilibre, il faut, suivant la longueur variable de ces tiges, mettre des poids différents à leur extrémité inférieure. Quand on avait besoin d'une force moindre que la puissance totale de la

nements de la machine à vapeur écrivait de mémoire lorsqu'il avançait cette opinion. Dans *toutes* les machines de Savery la condensation était produite par une aspersion d'eau froide sur l'extérieur des récipients. Nous avons vu que, dans une machine faite par Savery lui-même en 1710, on ne faisait pas usage d'injection ; et dans le *Miner's friend* il n'est nullement question d'aucun mécanisme de ce genre.

machine, pour prévenir les dérangements qui en seraient résultés, on injectait une moindre quantité d'eau, ou bien l'on fermait plus tôt le robinet d'injection.

A cette époque, les robinets *f, d,* s'ouvraient et se fermaient à la main ; on chargeait de ce travail des hommes et des enfants, et l'on concevra facilement que, quelles que fussent leur habitude et leur adresse, on ne pouvait obtenir qu'un très petit nombre de coups de piston par minute, et que la moindre inattention non seulement retardait le jeu de la machine, mais même compromettait son existence. Un enfant, nommé Humphry Potter, qui avait été chargé d'exécuter ces mouvements, eut l'idée, pour se débarrasser du soin ennuyeux qui lui était confié, d'ajouter ce qu'il appelait un *scoggan* (1) : c'était un crampon ou ressort de sa façon, quelques uns disent un simple cordon, qu'il attacha d'un bout aux robinets et de l'autre au balancier, tellement que cette dernière pièce, en montant ou descendant, ouvrait ou fermait les robinets aux moments convenables. Le mouvement de la machine fut accéléré ; elle donna jusqu'à 15 ou 16 coups par minute (2), et cette amélioration mit sur la voie du perfectionnement plus important exécuté depuis dans cette

(1) Ce mot fait allusion à une expression populaire du comté d'York, qui signifie *un paresseux*.

(2) Voy. *Philosophie naturelle* de Desaguliers.

partie de l'appareil, et que nous détaillerons sous peu.

L'usage de la machine atmosphérique, avec les avantages de précision que ce perfectionnement donnait à ses mouvements, d'une plus grande sûreté, et d'une économie immense dans le combustible comparativement à la consommation qu'on en faisait avec les machines de Savery; l'usage de cette machine, dis-je, se propagea tellement qu'elle remplaça partout les machines à haute pression.

Il restait encore bien des difficultés à lever. L'on n'avait plus, il est vrai, à redouter l'explosion de la chaudière, contre laquelle on avait trouvé des préservatifs; mais le jeu de la plupart des pièces se faisait au moyen de crampons ou de ressorts qui nécessitaient souvent l'intervention d'hommes ou d'enfants chargés de ce soin; et l'effet de la machine dépendant beaucoup de l'état des pièces, faciles à se déranger par les plus petites irrégularités dans leur fonction, il y avait beaucoup à craindre de l'ignorance et de la négligence des surveillants pour la conservation de la machine elle-même.

MACHINE A VAPEUR DE BEIGHTON.

Le mécanisme pour ouvrir et fermer les robinets restait encore embarrassé de crampons et de ressorts, lorsque M. Henry Beighton, ingénieur livré exclusivement à la construction des machines

pour les mines, fit à Newcastle, sur la Tyne, en 1718, une machine dans laquelle tous ces *tourneurs de robinets* et cette complication de ressorts furent remplacés par une tige suspendue au balancier, qui faisait mouvoir un mécanisme inventé par lui (*hand gear*), mécanisme dont on fait encore usage dans les machines modernes, à quelques modifications près. La soupape de sûreté à verge d'acier, conseillée à Beighton par Desaguliers, aurait été adaptée pour la première fois, selon toute apparence, à la chaudière de cette machine.

Le cylindre de la machine de Griff avait 22 pouces de diamètre, et Beighton calcula qu'il recevait 113 gallons de vapeur à chaque coup, faisant environ 1,464 gallons par minute, produit de quatre pintes d'eau à peu près. Cette quantité de vapeur avait au moment de sa formation une puissance égale aux trois quarts de la pression atmosphérique : de sorte que, déduction faite de la force perdue pour frottement du piston (1), des balanciers et autres pièces, chaque pouce carré du piston soulevait environ huit livres d'eau.

En examinant la fig. XII, qui représente la machine atmosphérique telle que Beighton l'a perfectionnée, on reconnaîtra qu'outre l'introduction de son mécanisme, il a donné aux pièces déjà en usage

(1) On se servait de suif dans ces machines pour diminuer le frottement, et non pour boucher le passage de l'air.

un arrangement et une forme plus convenables, qu'il a étudié la proportion des pièces entre elles et les fonctions qu'elles avaient à remplir; il fit aussi exécuter ses machines avec une précision, un soin et une élégance qu'on n'avait pas encore remarqués dans le travail de celles de ses prédécesseurs.

Dans la figure XII, la citerne *x* qui fournit l'eau d'injection est placée comme dans la figure précédente, et elle est remplie au moyen d'une petite pompe communiquant avec le tuyau *y y*, qui se prolonge jusque dans la mine. (On a supprimé l'extrémité du balancier *z*, où est attachée la tige du piston de la pompe, à partir de son axe *A*, parce que cela aurait obligé à dessiner la figure sur une échelle beaucoup trop petite pour qu'elle pût être distincte.) Comme le piston *d* ne doit laisser aucun passage à l'air, on garnit son pourtour d'une bande de cuir qu'on entretient humide à l'aide d'un petit filet d'eau qui coule constamment du tuyau *s* sur le piston *d*. Un rebord saillant ou enveloppe concentrique que porte le cylindre, à partir du point le plus élevé où arrive le piston, sert à empêcher que l'eau qui se trouve sur celui-ci ne reflue, passe par dessus les bords du cylindre et s'écoule au dehors, lorsque le piston est parvenu à sa plus grande hauteur. La chaudière *w* est représentée revêtue de maçonnerie; elle reçoit l'eau qui s'est échauffée par son séjour dans le haut du cylindre et qui s'écoule par un tuyau *b*; cette eau tombe dans l'en-

tonnoir d'un tuyau *g* qui s'élève à une certaine hauteur au-dessus de la maçonnerie, et descend d'environ un pied dans l'eau de la chaudière. Les deux *tuyaux d'épreuve i, i*, servent (comme dans la machine de Savery) à vérifier la quantité d'eau qui se trouve dans la chaudière. Le bout inférieur de l'un doit plonger dans l'eau, mais peu avant; le bout inférieur de l'autre doit être à quelques pouces au-dessus de la surface de l'eau. S'il sort de la vapeur par les deux robinets quand ils sont ouverts, elle indique qu'il manque de l'eau dans la chaudière; s'ils donnent de l'eau tous les deux, vous êtes averti qu'il y en a une trop grande quantité. L'eau froide s'injecte dans le cylindre par un tuyau *f*; et aussitôt qu'elle a opéré la condensation, elle tombe dans le tuyau *t t*, passe à travers une soupape qui est à son extrémité, et s'écoule dans le puits ou réservoir. Si l'eau qui coule de *s* sur le haut du piston n'était pas toute employée à remplacer dans la chaudière ce qui se perd par l'évaporation, il se formerait dans la double enveloppe qui est au-dessus du piston un amas d'eau qui s'épancherait par dessus les bords et tomberait sur le revêtement de la chaudière. Pour prévenir cet épanchement, un tuyau *a a*, formant embranchement avec le tuyau *b*, reçoit l'eau superflue et la conduit dans le puisard. L'air contenu dans l'eau injectée et qui se dégage pendant la condensation de la vapeur en dessous du

piston s'échappe par un petit tuyau *u*, terminé par un entonnoir, et garni d'une soupape s'ouvrant en dehors, qui se referme par la pression de l'atmosphère, sitôt que l'air chassé par la descente du piston est tout-à-fait sorti. On introduit de temps en temps, au moyen du tuyau *n*, une petite quantité d'eau au-dessus de cette soupape, pour fermer le passage à l'air. C'est cette soupape qu'on appelle *soupape reniflante*, parce que l'air fait en s'échappant un bruit semblable à celui qui se fait dans le nez d'une personne enrhumée. *H* est la porte du foyer placé au-dessous de la chaudière *w* à vapeur; *c* tige du piston attachée à la chaîne fixée à l'extrémité du balancier; *A* axe du balancier *z*; *B* mur ou charpente qui supporte cet axe; *D* pièces de bois auxquelles le cylindre est fortement assujetti par des écrous traversant une garniture de fer; *L* trou pratiqué dans le plancher de l'usine, dans lequel joue l'extrémité inférieure du châssis à coulisse; *h* soupape de sûreté.

A l'exception près de l'addition de la soupape reniflante, que Newcomen remplaçait par le tuyau servant à conduire dans le puits l'eau produite par la condensation de la vapeur, toutes les pièces que nous avons indiquées remplissent les mêmes fonctions que celles que nous avons vues dans la figure XI. Nous avons, dans la planche XIII, représenté sur une plus grande échelle le mécanisme imaginé par Beighton, afin de donner un aper-

çu plus exact de sa construction et de son jeu.

Entre deux pièces de bois perpendiculaires (pour ne pas surcharger la figure, une seule, *B*, est représentée) est un axe de fer carré *o*, portant deux tiges de fer recourbées du bout, qui servent à faire tourner le *régulateur*, en poussant en avant et tirant en arrière la fourchette *m m*, dont l'extrémité est fixée dans le manche *V V* du régulateur *T*. La pièce de bois qui joue perpendiculairement, et que Beighton a nommée châssis à cheville, est percée dans sa longueur d'une fente ou coulisse disposée de manière à ce que les chevilles qui la traversent servent par leur milieu et leurs extrémités, qui font saillie, à lever et à baisser les leviers *x*, *p*, *z* : les deux derniers font mouvoir l'essieu de fer *o* autant qu'il est nécessaire autour de son centre. Sur l'essieu de fer est fixée une pièce qu'on appelle *Y*, à cause de sa ressemblance avec cette lettre; elle a un poids mobile *F* placé au bout supérieur. L'étrier *N* est supporté par les crochets *s s*, suspendus à l'essieu de fer. Les leviers sont aussi fixés sur cet essieu à angles droits avec les branches de l'*Y*. Presqu'à l'extrémité du manche de la *fourchette horizontale* sont des trous servant à maintenir, au moyen des chevilles, le manche *q* dans le levier du régulateur *V V*, à une distance plus ou moins rapprochée. Le levier se meut sur une barre horizontale entre les chevilles *t*, *a*.

Dans la situation présente de la machine, le ré-

gulateur est ouvert, comme on le voit, en ce que sa plaque mobile ou soupape, indiquée par la ligne pointée *y*, est en partie au dehors du tuyau qui établit la communication entre la chaudière et le cylindre. Le piston serait un peu plus élevé dans le cylindre qu'il n'est dans la figure XII : par conséquent la poutrelle et la coulisse sont presque à leur plus grande hauteur; et la cheville 2, qui traverse la coulisse et les deux côtés de la poutrelle, a tellement élevé le bras de levier *p*, que le poids placé à la tête de l'*Y* a dépassé la perpendiculaire sur l'axe, et pencher vers *m*. *Y* donne alors un grand coup de sa branche *D* sur la cheville *a* de l'étrier; et amenant la fourchette *m m* horizontalement vers la coulisse, le régulateur *V* tournera dans le sens *a t*, et par ce moyen fermera la communication entre le cylindre et la chaudière. La chute ou la descente de la coulisse produira un mouvement contraire. A l'instant où le premier mouvement s'achève, la cheville 3, en dehors de la coulisse, abaisse le levier *x* attaché au quart de roue dentée *g*, qui engrène dans un autre quart de roue *f*, fixé sur l'axe du robinet *e*, traversant le tuyau d'injection *b o*. La roue *f* en tournant fait ouvrir le robinet; l'eau froide entre dans le cylindre, condense la vapeur et forme un vide; ensuite la pression de l'atmosphère fait descendre le piston à vapeur et monter la coulisse; une autre cheville élève le levier *x*, dont le mouvement détermine la fermeture du robinet d'injec-

tion ; l'abaissement d'un des bras de levier tenant à l'essieu de fer communique à l'étrier et à la fourchette un mouvement en avant qui ouvre la soupape, et laisse encore une fois sortir la vapeur de la chaudière, pour entrer dans le cylindre.

Beighton fit par la suite à sa machine quelques modifications de détails que nous nous contenterons de signaler ici. Il eut le premier l'idée d'alimenter la chaudière à vapeur non seulement avec l'eau qui provenait de la partie supérieure du cylindre, comme nous l'avons déjà dit, mais aussi avec l'eau d'injection qui s'écoulait mêlée à l'eau produite par la condensation de la vapeur et dont la température est déjà très élevée. La manière dont il a cherché à exécuter cette idée, si l'on s'en rapporte au dessin qui nous est resté de sa machine, est tout-à-fait impraticable ; et il est à croire ou que le dessin est mauvais, ou que cet ingénieur ne connaissait pas assez les lois de l'hydrodynamique pour se diriger d'après elles dans ses expériences. Beighton fit aussi quelques changements au mécanisme ingénieux qu'il avait inventé pour faire mouvoir les clapets ; mais ils sont indiqués d'une manière trop confuse, et d'ailleurs trop peu importants pour que nous nous y arrêtions.

Dans toutes les figures que nous avons données de la machine atmosphérique, le cylindre à vapeur est placé immédiatement sur la chaudière, ou du moins au-dessus d'elle C'était le mode de con-

struction adopté; mais l'expérience a démontré qu'il était impossible de maintenir la chaudière et le cylindre assez fermement dans leur position pour conserver l'exactitude de leurs mouvements. Le plus léger manque de précision dans l'ouverture et la fermeture de la soupape d'injection et de la soupape à vapeur produisait un dérangement qui avait les plus terribles conséquences. Les machines les mieux construites et exécutées avec le plus de précision étaient sujettes à s'ébranler au moment où la masse énorme du balancier changeait son mouvement; et au bout de quelques jours, la chaudière se détachait de sa maçonnerie. Les machines construites par Smeaton, quarante ans après, n'étaient pas encore exemptes de cet inconvénient, malgré toutes les précautions que la sagacité et une longue expérience avaient pu suggérer pour les rendre inébranlables, comme par exemple celle d'assujettir le cylindre par des boulons à de fortes pièces de bois soutenues par de gros murs n'ayant aucune communication avec la chaudière ou ses accessoires, ainsi que le démontre la figure XII. Toutefois, pendant les mouvements ascendant et descendant du piston, la chaudière et le cylindre éprouvaient un ébranlement par l'effet du ressaut des poutres de support. On remédia quelquefois à ces inconvénients en arrangeant les pièces différemment. On plaçait le cylindre à côté de la chaudière, et on l'assujettissait à une masse

solide de bois ou de pierre tout-à-fait isolée de ce vaisseau. C'était là un véritable perfectionnement; mais, malgré cela, il arrivait encore que les tuyaux de communication de la chaudière au cylindre se dérangeaient presque toujours, et exigeaient de fréquentes réparations et des dépenses inévitables.

PERFECTIONNEMENT DE LA MACHINE DE SAVERY PAR SGRAVESANDE. (FIG. XIV.)

Feu le docteur Sgravesande, dit Desaguliers, vint en Angleterre, avant qu'il fût professeur, en qualité de secrétaire de l'ambassadeur de Hollande, en 1715. Comme nous examinions un jour la machine à feu de Savery telle qu'elle est décrite dans le *Lexicon technicum* du docteur Harris, nous pensâmes qu'il devait se faire une grande perte de vapeur par suite de son action continuelle dans les deux récipients; que, d'une part, cette émission non interrompue ne permettait pas que la vapeur acquît dans la chaudière la température nécessaire; que, de l'autre, son action sur l'eau n'étant pas assez rapide, une grande partie de la vapeur était employée à échauffer l'eau à sa surface, et même à une assez grande profondeur. Il nous parut, au contraire, que, si la machine était tellement construite que la vapeur, au lieu d'agir sans interruption dans deux récipients alternativement, ne passait que dans un, et qu'après chaque émission elle fût retenue dans la chaudière jusqu'à ce

que le récipient fût de nouveau rempli d'eau, la compression qui résulterait de cette interruption d'action donnerait tant de force à la vapeur qu'elle refoulerait l'eau vivement et la chasserait du récipient avant même que sa surface fût échauffée. Nous crûmes d'ailleurs que probablement le seul motif qu'avait eu Savery d'employer deux récipients était que le marquis de Worcester en mentionnait deux dans la description qu'il nous a laissée. Nous résolûmes donc de faire des expériences avec une machine modèle qui fût propre à agir tantôt avec un seul récipient, tantôt avec deux. Ces expériences nous démontrèrent qu'un seul récipient peut se vider trois fois, pendant que deux, sur lesquels il est agi alternativement, ne se vident chacun qu'une fois : de sorte qu'une machine d'après ce système serait aussi simple, agirait plus facilement, coûterait presque moitié moins et élèverait un tiers plus d'eau (1).

C'est cette machine que représente la figure XIV. *W* est une chaudière sphérique placée dans un

(1) On ne peut s'en rapporter entièrement aux assertions de Desaguliers, qui n'appuie ses expériences d'aucunes données positives sur le combustible brûlé dans les deux machines et sur l'eau élevée. D'ailleurs il est possible d'obtenir de la vapeur à une pression aussi haute avec deux récipients qu'avec un, si l'on proportionne le foyer et la surface de l'eau en contact avec le feu, avec la quantité et la force de la vapeur que l'on veut obtenir. [*Note de l'Edit.*]

fourneau en brique dont *f* est le foyer, *y* le cendrier et *d* la cheminée. *t t* sont les robinets d'épreuve ordinaires; *r* l'eau du réservoir *k*, destinée à arriver, par le tuyau d'aspiration *n* et la soupape *u* qu'elle soulève, dans le récipient *z*, qui communique à la chaudière par le tuyau *b*; *o* est un robinet dit à quatre issues, garni de leviers ou poiguées *g g*, qui servent à l'ouvrir; *x* un robinet qui amène l'eau d'injection. L'opération est la même ici que dans la figure VIII, c'est-à-dire que, par l'ouverture du robinet *o*, la vapeur, passant de la chaudière dans le récipient *z*, et agissant avec force sur la surface de l'eau, l'oblige à monter par la soupage *c* dans le tuyau *m*. La poignée du robinet *o* tourne alors, et en fermant l'ouverture du tuyau *b*, intercepte toute communication entre la chaudière et le récipient, qui, dans cet intervalle, reçoit par le tuyau *x* une certaine quantité d'eau froide, dont l'effet est d'y condenser la vapeur et d'y former un vide. Alors l'eau du réservoir *k*, cédant à la pression de l'air, s'élève par le tuyau *n* dans le récipient *z*, qu'elle remplit. La poignée du robinet *o* reprenant sa première position, la vapeur fait de nouveau monter l'eau du récipient dans *m*, et ainsi de suite.

Dans les premières machines de Savery, la condensation de la vapeur s'effectuait toujours par l'aspersion d'eau froide qu'on dirigeait extérieurement sur le cylindre. Rien ne nous indique positivement l'époque à laquelle les machines à

haute pression furent construites de manière à ce que la condensation s'opérât par injection ; mais il paraît que ce fut vers 1712. Dans la machine qui nous occupe en ce moment on parvint à perfectionner ce dernier mode de condensation *au moyen d'une tête d'arrosoir* a, *placé sous le robinet* o, *qui, en distribuant l'eau plus également, donne une condensation plus prompte*. Il est bon toutefois de faire observer que cette invention peut ne pas appartenir à Desaguliers, puisqu'il n'établit aucune prétention à cet égard.

Cet auteur nous apprend qu'il exécuta sept de ces machines en 1717 et en 1718, et une entre autres qu'il établit à Saint-Pétersbourg dans le jardin du czar Pierre Ier, dont suit la description. C'est lui-même qui parle : « La chaudière, dit-il, à laquelle j'avais donné la forme sphérique, comme « étant la plus convenable toutes les fois que la « pression de la vapeur excède celle de l'atmosphère, contenait de cinq à six muids. Le récipient en contenait un ; il s'emplissait et se vidait quatre fois par minute. L'eau s'élevait d'abord par aspiration, c'est-à-dire par la simple « pression de l'atmosphère, à vingt-neuf pieds du « puisard, et puis ensuite, par la pression de la « vapeur, à onze pieds plus haut. Tous les tuyaux « étaient en cuivre, mais soudés à la soudure ordinaire, que je savais devoir suffire pour cette hauteur, et même pour une plus grande, avec la

« même quantité d'eau : car, la quantité augmen-
« tant, il faudrait aussi augmenter la capacité de
« la chaudière, et c'est un principe constant qu'une
« chaudière oppose d'autant moins de résistance
« à la force expansive de la vapeur qu'elle ren-
« ferme, la pression étant la même, que la chau-
« dière est plus grande; en augmentant celle-ci
« il faudrait augmenter en même temps de beau-
« coup l'épaisseur de ses parois, sous peine de la
« voir peut-être éclater.

« Une autre machine, poursuit le docteur, que
« je montai il y a environ vingt-cinq ans, pour
« un de mes amis, élevait l'eau d'abord à vingt-
« cinq pieds du puisard; puis la pression de la va-
« peur la reportait à vingt-quatre pieds plus haut,
« dans une citerne du contenu de trente tonneaux,
« établie au sommet d'une tour, d'où elle redes-
« cendait par différents conduits dans le jardin,
« pour y former des jets d'eau. Quelquefois, dans
« les temps de sécheresse, on l'employait à arroser
« les prairies. Alors on lui donnait une issue à la
« hauteur de cinq ou six pieds des tuyaux mon-
« tants : dans ce cas, la vapeur pouvait avoir
« beaucoup moins de force que lorsqu'il s'agissait
« d'élever l'eau jusqu'au haut de la tour; mais si
« cependant l'on voulait toujours employer la
« même force, alors, au lieu de six impulsions
« que l'on comptait dans ce dernier cas, l'on en
« obtenait huit et neuf par minute. Sur la soupape

« d'un prix très élevé. Les grandes sont donc « meilleures, moins dispendieuses, et la puissance « perdue par le frottement n'est que peu de chose « comparée à celle qui est utilisée par l'élévation « d'une beaucoup plus grande quantité d'eau. Le « frottement, en effet, dans les machines est tou- « jours dans le rapport du diamètre; mais l'eau « élevée par elles est comme le carré du diamètre « du cylindre; enfin une petite machine pour être « mise en jeu demande beaucoup plus de dépense de « force qu'une grande. J'en fis l'expérience en 1728 « ou 29, à Westminster, dans mon jardin, sur une « machine de Leaver, dont M. Jones avait fait exé- « cuter le modèle, avec le projet d'en faire hommage « au roi d'Espagne. Près de celle-ci s'en trouvait « une d'après le système de Savery, qui élevait « dix tonneaux d'eau par heure à la hauteur « d'environ vingt-huit pieds; la chaudière de la « machine essayée était de la même grandeur « que la mienne, et son cylindre, de six pouces « de diamètre, portait deux pieds de long. « Lorsqu'elle fut achevée, la machine de Leaver « ne montait que quatre tonneaux par heure dans « le même réservoir que la mienne. Elle lui coû- « tait trois cents livres sterling; et la mienne, « avec des tuyaux de cuivre, ne m'en coûtait que « quatre-vingts.

MACHINE A HAUTE PRESSION DE LEUPOLD. (FIG. XV.)

Dans les premières applications que l'on fit de la vapeur, elle agissait par sa force expansive contre la pression de l'air, de la même manière que dans les machines de de Caus et de Savery, et dans une des inventions de Papin, où celui-ci l'emploie à faire monter un piston. Ce fut en suivant cette idée que, en 1720, Leupold, le célèbre auteur du *Theatrum machinarum*, exécuta ce qu'il est permis de regarder comme la première MACHINE A HAUTE PRESSION A BALANCIER, machine dans laquelle la vapeur s'échappait dans l'air après avoir fait ses fonctions, ou, en d'autres termes, après avoir fait monter des pistons qui, par des tiges de fer, se rattachaient à un balancier. Ce mécanicien fait preuve d'une sincérité peu commune dans l'histoire des machines à vapeur, en attribuant généreusement tout le mérite de son invention à Papin, qui, comme il le dit lui-même, lui suggéra l'idée d'employer la force élastique de la vapeur pour faire monter l'eau. C'est aussi à Papin, qui l'avait employé dans sa machine à vapeur, qu'il doit le robinet à quatre issues (1). La figure XV représente la machine de Leupold telle que lui-même nous l'a donnée. La chaudière *a* com-

(1) *Theatrum machinarum*, vol. 11, tab. 30.

munique par le robinet x avec le fond des deux cylindres r, s, garnis de pistons c, d, qui se meuvent dans leur cavité. Ces pistons sont attachés à des balanciers g et h par des tiges e et f. A l'autre extrémité de ces balanciers sont fixées des tiges k, l, portant à leur partie inférieure des pistons dont le jeu s'effectue dans les corps de pompe o, p; q est un tuyau de conduite communiquant avec les corps de pompe, dans lequel l'eau est forcée de monter; z est le foyer, y le cendrier, i i les pivots sur lesquels se meuvent les balanciers g et h; x est un robinet à quatre issues, construit de manière à fermer toute communication entre la chaudière et l'un ou l'autre des cylindres, et à en établir une en même temps entre ces mêmes cylindres et l'air extérieur.

Dans la figure que nous avons sous les yeux, nous voyons la vapeur s'échapper de la chaudière a pour venir, au travers du passage pratiqué dans le robinet x, se répandre dans le cylindre r, et faire monter le piston c; celui-ci fait plonger la tige k fixée à l'autre extrémité du balancier; elle agit sur l'eau et la force à monter par le tuyau q. Quand le piston c, chassé par la vapeur, arrive près du sommet du cylindre, alors le robinet x tourne, et ferme le passage de la chaudière à ce même cylindre, tandis qu'il établit une communication de l'intérieur avec l'air libre; mais la tige f et le piston c formant, par leur réunion, un poids plus grand

que celui de *k* et *o*, il en résulte que le piston *c* retombe naturellement au fond du cylindre, et refoule, au travers de *z*, dans l'air, la vapeur qu'il avait fait monter.

La conformation du robinet à quatre issues est telle que, au moment où s'est fermé le passage de la vapeur dans le cylindre *r*, un autre s'est à l'instant ouvert entre la chaudière et le cylindre *s* : dès lors le piston *d*, chassé par la force élastique de la vapeur, s'élève, et fait plonger le piston de la tige *l*, qui, en agissant sur l'eau du tuyau *p*, la force de monter dans *q*. Le jeu du piston *d* achevé, le robinet *x* tourne de nouveau, ne permet plus à la vapeur de passer de la chaudière dans le cylindre *s*, mais laisse le passage libre du bas de *s* à l'extérieur; la vapeur que contenait le cylindre *s* s'échappe, et *d* descend, entraîné par la supériorité de son poids, de la même manière que *c*. Pendant que *d* s'élevait, *c* est retombé au fond du cylindre *r*; mais il ne tarde pas à en regagner le haut, chassé par la vapeur à laquelle le robinet vient de livrer passage, pendant que la vapeur du cylindre *s* se répand dans l'atmosphère. C'est ainsi que s'entretient alternativement et sans interruption le jeu vertical des deux tiges *k* et *l*. Plus tard on imagina d'attacher les balanciers l'un à l'autre, de façon que l'ascension de l'un des pistons produisît l'abaissement de l'autre sans qu'il fût nécessaire d'employer de contre-poids.

MODIFICATION DE LA MACHINE DE SAVERY, PAR LEUPOLD. (FIG. XVI.)

Leupold proposa, en outre, l'emploi de la machine de Savery pour élever l'eau par l'élasticité de la vapeur seulement; au lieu de *condenser* la vapeur, il la laissait s'échapper dans l'air. *a*, dans la fig. XVI, est la chaudière; *b*, b' tuyaux qui communiquent aux deux récipients f, f; *C*, le tuyau à deux branches par lequel monte l'eau; *d*, d', tuyaux fermés chacun par une soupape s'ouvrant de bas en haut, par lesquels l'eau arrive du réservoir *g* dans les récipients. Le robinet permettant à la vapeur de passer dans le récipient *f* plein d'eau, celle-ci est refoulée à travers la soupape qui ferme la branche du tuyau *c*; au contraire la pression ferme le clapet du tuyau *d*. Dès que l'eau a été chassée par le ressort de la vapeur, le robinet à quatre issues *e* intercepte toute communication avec la chaudière *f*, et livre passage à la vapeur du récipient, qui se répand alors dans l'air. Tandis que *f* se vide de vapeur et se remplit d'eau, la communication établie entre la chaudière et f' permet à la vapeur d'agir sur l'eau contenue dans ce récipient, et l'action se continue ainsi alternativement; l'eau, refoulée de *f* et de f' se réunit dans le même tuyau *C*. Cette machine a été l'objet de recherches dont le but était aussi vague que les moyens d'exécution, d'après les dissertations qui nous sont restées.

Nous nous abstiendrons de rapporter ici les inintelligibles raisonnements que l'on a faits sur cette matière.

L'appareil de MM. Mey et Meyer, dont la description et les plans furent publiés en 1726 par l'Académie des sciences (1), n'offre rien dans sa construction qui le distingue particulièrement de celui que représente la fig. VIII.

MACHINE DE JONATHAM HULLS.

Quoique M. Jonatham Hulls n'ait rien fait de nouveau dans la construction de la machine atmosphérique elle-même, nous ne devons pas moins mentionner ici son nom avec tous les éloges qui lui sont dus pour avoir, le premier (2), proposé l'application des roues à aubes qui, mues par la vapeur, servent à faire marcher les vaisseaux, en remplacement des voiles mues par le vent. Il fallait, pour arriver à ce résultat, *convertir le mouvement rectiligne de va et vient de la tige du piston* en un *mouvement de rotation continu*. Or c'était, disait-il très ingénieusement, ce qu'il était facile

(1) *Machines approuvées*, pag. 209, tom. 7.

(2) Description, avec planches, d'une nouvelle machine servant à faire sortir les bateaux ou navires des ports ou des rivières, ou à les y faire entrer contre vent et marée, comme en temps calme; par Jonatham Hulls. Londres, 1737.

d'effectuer au moyen d'une *manivelle*. Il n'y a en effet que cette invention qui ait rendu la machine à vapeur *applicable, comme force motrice, à toute espèce de machine* (1). Hulls ne put réussir à faire goûter son projet du public, et son application de la *manivelle* tomba tellement dans l'oubli, que, quarante ans après, lorsqu'il en fut de nouveau question, un brevet d'invention fut accordé à celui qui fit revivre ce projet, et l'honneur de la découverte réclamé par le célèbre Watt, qui, sans doute, ignorait qu'elle appartînt à Hulls.

Le succès avec lequel on est graduellement parvenu à perfectionner le régulateur des machines

(1) Nous avons exposé précédemment l'idée que l'on attribue à Savery d'employer les roues à aubes pour faire marcher les navires. L'application qu'en a faite Hulls ne serait pas, selon le docteur Brewster, d'une bien grande importance. Voici à ce sujet comment il s'exprime : « Nous ne regardons « point, dit-il, comme une invention la substitution de la « force des chevaux, de la vapeur, ou de l'air échauffé, à celle « des bras, car il nous faudrait alors admettre les prétentions « d'une foule de gens qui réclameraient à l'envi l'honneur « d'avoir employé la machine à vapeur à battre le blé. Or « quand, en 1736, M. Jonathan Hulls proposa de faire l'ap« plication de cette dernière force au vaisseau remorqueur, « il n'eut point d'autre mérite que de la substituer à celle « des bras; sa proposition ne portait nullement le cachet du « génie inventif; et le mécanisme qui convertissait le mou« vement alternatif du piston en mouvement de rotation des « roues à aubes est aussi grossier qu'imparfait ». (*Mécanique*

atmosphériques suggéra à différentes personnes l'idée d'adapter des mécanismes de cette espèce aux machines de Savery.

MACHINE DE GENSANNE. (FIG. XVII.)

La figure 17 et 17 *bis* représente l'élévation et la coupe d'une machine décrite par Gensanne, qui n'est qu'un appareil de Savery pourvu d'un régulateur. *x* est le récipient ; *h*, un tuyau qui s'élève du réservoir et amène l'eau en *x*; *g*, tuyau de décharge par où l'eau refoulée sort du récipient ; *f*, tuyau d'injection ; *c*, la clé du robinet d'injection ; *b*, l'axe de la soupape

de Ferg., vol. 11, p. 113.)—Voici dans quels termes M. Hulls, prévenant en quelque sorte cette objection, y répond : « Que « si l'on me refuse le mérite d'une nouvelle invention, parce « que je n'aurais fait qu'appliquer à ma machine la même « force que d'autres ont vu employer à d'autres usages, je « dirai que l'application de cette puissance n'est autre que « celle d'un instrument ordinaire ou connu pour arriver « mécaniquement à un résultat qu'il n'a pas jusque là servi « à obtenir. » (HULLS, cité par BREWSTER.)

Il faut convenir, en effet, que ce n'est pas une manière toujours bien sûre de juger du mérite d'une découverte que d'en apprécier l'importance d'après *le degré de génie* qui l'a pu produire : car nous regarderions aujourd'hui comme une très belle invention l'application de la machine à vapeur à la direction des ballons, et cependant ce ne serait toujours que le même principe qui fait mouvoir la machine à battre le blé.

qui se meut horizontalement; *m*, sommet de la chaudière; *d*, *d*, deux poids dont les fonctions sont les mêmes que dans la machine atmosphérique. La disposition du curseur *c* est telle que le robinet d'injection se ferme dès que la soupape s'ouvre. Pour ce qui est du mouvement des balanciers, il suffit de jeter les yeux sur la figure et d'en voir la connexion pour s'apercevoir aussi de suite que leur action est simultanée. Il paraîtrait, d'après les observations préliminaires de Gensanne, qu'en 1744 plusieurs machines de ce genre avaient été construites en France: une à Fresne, près Condé; une autre près de Charleroi, destinée à épuiser l'eau d'une mine de charbon; et une troisième servant à la même fin dans une mine de plomb des environs de Namur. Le célèbre Belidor nous donne une excellente description de celle de Fresnes (1), qu'il avait vue avec tant de soin, qu'il fit plusieurs fois le voyage pour en examiner le jeu, faire le dessin et établir son devis.

MACHINE DE DE MOURA.

De Moura, gentilhomme portugais, conçut aussi, dans le même but, une ingénieuse disposition de balanciers dont il soumit le plan à la société royale. La description s'en trouve dans les *Transactions*. Mais les machines atmosphériques ayant généra-

(1) *Architecture hydraulique*, tom. 2, pag. 300.

lement prévalu sur celles de Savery, on ne lui accorda pas toute l'attention qu'il aurait méritée dans d'autres circonstances. Ce qu'il y a de particulier dans sa machine, c'est un flotteur placé dans l'intérieur du récipient, composé d'une boule creuse et légère de cuivre assujettie à l'une des extrémités d'une petite broche qu'elle fait monter et descendre, tandis que l'autre extrémité de cette broche est attachée à un axe; cet axe, en forme de cone, traverse une emboîture de même forme, et, selon que l'eau du récipient s'élève ou s'abaisse, il communique les mêmes mouvements au dehors pour mettre en harmonie le reste de la machine (1).

ESSAIS POUR DIMINUER LA CONSOMMATION DU COMBUSTIBLE.

Aucun essai heureux n'avait été fait depuis Beighton, tendant à diminuer l'énorme consommation du combustible qui avait lieu dans les machines les mieux confectionnées. On avait bien inventé, pour y parvenir, différentes formes de fourneaux et de chaudières; mais aucune ne donnait à l'exécution les résultats désirés. M. Payne (2), entre autres,

(1) Smeaton, *Transactions philosophiques*, vol. 47, pag. 437. — 1752.
(2) *Transactions philosophiques*.—1741.

avait conçu l'idée, à l'aide de tuyaux en spirale, de distribuer l'eau en filets très déliés dans l'intérieur d'un cone de fonte creux et constamment chauffé au rouge. Mais la vapeur ne s'y produisait pas en quantité suffisante, et l'appareil n'avait qu'une très courte durée. Vint ensuite M. Smeaton, qui, dans l'espoir d'obtenir une combustion plus complète, et par suite une chaleur plus forte, en arrêtant plus long-temps la fumée sous la chaudière, imagina de n'introduire la flamme dans la cheminée qu'après lui avoir fait parcourir de longs détours. Il en fit l'essai; mais il arriva que le courant d'air dont s'alimentait le foyer s'en trouva tellement affaibli, que, la combustion ne s'effectuant plus que difficilement, il fallut renoncer à ce projet, dont les avantages n'étaient point en raison des inconvénients. Les savants ne faisaient alors que commencer à tourner leur attention vers les moyens d'économie dont le chauffage des fourneaux pouvait être l'objet.

PERFECTIONNEMENT A LA MACHINE DE SAVERY PAR BLAKEY. (FIG. XVIII.)

M. Blakey obtint en 1766 un brevet d'invention, pour prévenir, par *l'interposition d'une certaine quantité d'huile,* le contact de la vapeur et de l'eau dans la machine de Savery. L'huile, en raison de sa moindre pesanteur, flottant à la surface de l'eau

du récipient, faisait l'effet d'un piston non-conducteur de calorique. Il employait également deux récipients, qu'il plaçait l'un au-dessus de l'autre, de telle façon que, au lieu de se renouveler à chaque injection, l'eau qui portait l'huile restait toujours la même. A la place de l'huile, il prétendait qu'on pouvait aussi quelquefois substituer l'*air*, pour empêcher le contact de la vapeur et de l'eau. La vapeur que recevait le récipient supérieur, plus légère que l'air, en occupait la partie la plus élevée, et en chassant l'air devant elle, déplaçait une égale quantité d'eau, qu'elle refoulait dans le tuyau de décharge. Mais cette disposition fut trouvée vicieuse à l'essai. La compression que subissait l'air ne se faisait qu'aux dépens de la force élastique de la vapeur; et d'ailleurs, bien qu'au moyen de l'air, ou de l'huile, ou de tous les deux, on empêchât la vapeur d'entrer en contact avec la surface de l'eau, cependant, d'après la construction de toutes les machines exécutées sur ce principe, comme il faut nécessairement que l'huile et l'air soient en contact avec les parois du récipient et la surface de l'eau, ils s'échauffaient aux dépens des parois, et transmettaient la chaleur acquise à l'eau qu'ils recouvraient. L'eau elle-même, en s'élevant dans les récipients après la condensation des vapeurs, absorbait, par le contact de l'enveloppe, une partie de la chaleur qui avait été communiquée au vase: il y avait donc condensation prématurée, et, par suite, perte

des vapeurs servant à réchauffer l'enveloppe, ainsi que dans les machines ordinaires : l'absorption, il est vrai, était moindre que dans ces dernières machines, l'huile et l'air n'étant pas à beaucoup près d'aussi bons conducteurs.

Mais les avantages de cette économie ne parurent pas tels qu'ils pussent contrebalancer les inconvénients qui naissaient de l'interposition de l'air, surtout comme piston mobile. De grandes contestations, dit Hornblower, s'élevèrent parmi les savants, sur la question de savoir si la chose était praticable. Les uns prétendaient qu'en admettant le principe, l'application en deviendrait d'une extrême difficulté dans les mines, où il faudrait alors dix atmosphères au moins ; les autres, au contraire, ne mettant aucune mesure dans leurs prétentions, soutenaient qu'il était possible de s'en servir pour extraire l'eau du centre même de la terre. Mais un accident survint qui termina le différent. Une de ces machines éclata dans le comté de Cornouaille, bien que la vapeur fût beaucoup au-dessous du maximum de force proposé, et personne n'en parla plus (1). Ce furent sans doute les mêmes inconvénients qui firent échouer M. Blakey dans les divers tentatives qu'il fit pour l'introduire en pays étranger. « Telle est en effet la singularité de l'esprit humain, continue Hornblower, que, pen-

(1) Hornblower, *Greg. mach.*, pag. 306, vol. 2.

dant que l'académie des sciences à Paris, et les députés des états-généraux en Hollande, le comblaient des éloges les plus outrés, il n'est pas d'exemple qu'il ait trouvé nulle part l'encouragement qu'il était en droit d'attendre (1).

C'est la machine de Blakey que représente la fig. XVIII. *E* est la chaudière; *D*, un tuyau qui s'y adapte et qui établit la communication avec le récipient *I*; sous ce récipient en est un autre *V*, d'égale grandeur, réuni au premier par le tuyau *f*; *q* est un tuyau par lequel le récipient *V* communique avec le tuyau d'aspiration et celui de décharge *X B*; *C*, un tuyau surmonté d'un entonnoir et garni d'un robinet *z* qui fournit de l'eau froide à la chaudière; *t*, le tuyau, et *l*, le robinet d'injection; *P*, robinet par où l'air s'introduit dans le récipient ou s'en échappe au besoin; il fait aussi les fonctions d'un *robinet d'épreuve*; *F*, robinet d'épreuve servant pour la chaudière. Le fourneau, le cendrier et la cheminée sont ici les mêmes que dans les machines dont nous avons donné l'explication.

Cette machine fonctionne de la même manière que celle de Savery, et rien n'est plus simple que son jeu. La vapeur qui se produit en *E* arrive au travers de *D* en *I*, et déplace l'air, le chassant devant elle, comme un piston, par le tuyau *f* jusque dans *V*. Cet air presse l'eau contenue dans *V*,

(1) Hornblower, *Greg. mach.*, pag. 363, vol. 2.

et l'oblige à monter par *q* dans le tuyau de décharge *X*, qui la porte au réservoir. L'eau de *V* ainsi épuisée, *l*, le robinet d'injection, s'ouvre, et l'eau, se distribuant au travers de la tête d'arrosoir dont est garnie l'extrémité du tuyau *t*, non seulement condense la vapeur qui remplit *I*, mais va encore, au travers d'une seconde tête d'arrosoir fixée dans la partie supérieure de *V*, produire le même effet sur la vapeur que contient ce récipient. Le vide opéré dans *I* et partiellement dans *V*, la pression de l'atmosphère refoule l'eau du puits *M*, et la force de monter, au travers du tuyau *B*, dans *V*. Lorsque l'eau arrive à la hauteur de *s*, le robinet *D* s'ouvre, et la vapeur, passant de la chaudière en *I*, chasse l'air au travers de *f* en *V*, dont elle déplace l'eau, pour la faire monter, par *q*, dans le tuyau de décharge *X*. Dès que *V* achève de se vider, le robinet à vapeur se ferme, celui d'injection s'ouvre, et la pression de l'atmosphère fait de nouveau monter l'eau de *M* en *V*. Ce n'est là, comme il est facile de l'apercevoir, que la machine à simple effet de Savery, car il ne résulte aucun avantage de l'emploi de deux récipients réunis par un bout de tuyau. Dans celle de Savery, l'interposition de l'air, comme piston, entre la vapeur et l'eau, présentait à l'exécution un inconvénient auquel il n'était possible de remédier que dans de certaines occasions : il n'est donc pas surprenant que Blakey, qui lui avait donné une prodigieuse

extension, ait échoué dans l'application qu'il fit de cet appareil.

La figure nous représente les robinets comme s'ils étaient destinés à s'ouvrir et à se fermer à la main; mais dans la machine qu'il exécuta, Blakey adapta une série de leviers, qui, à cet égard, remplissaient les fonctions de la main, étant réglés dans leur mouvement alternatif par une sphère creuse qui montait et descendait avec la surface de l'eau, comme un flotteur. Pour produire la vapeur en quantité suffisante et avec le degré de tension désiré, il imagina une chaudière qui se trouve représentée dans la figure, et dont la construction se conçoit au premier coup d'œil (1). Il n'en fut cependant aucunement fait mention dans son brevet, et ce ne fut que plusieurs années après, vers 1774, que cette invention vit le jour. Elle repose sur le même principe que celle dont Woolf est l'auteur, et qu'il employa avec beaucoup de succès, en l'adaptant à ses machines.

TRANSFORMATION DU MOUVEMENT ALTERNATIF DU PISTON DE LA MACHINE ATMOSPHÉRIQUE EN MOUVEMENT CIRCULAIRE PAR KEAN FITZ GÉRALD.

En 1758, M. Kean Fitz Gérald publia, dans les *Transactions philosophiques*, le moyen de con-

(1) Blakey, sur les pompes à feu.

vertir le mouvement alternatif de la machine atmosphérique en un mouvement de rotation. « *Il employait pour cela,* disait-il, *un système de grandes roues à dents et de plus petites à rochets, engrenant avec les dents pratiquées sur l'arc ou secteur du balancier.* Dès que le balancier montait, l'un de ces rochets était mit en mouvement et s'arrêtait dès qu'il descendait; un autre rochet était alors repris par une roue de rencontre qui le faisait tourner dans le même sens, ce qui entretenait dans un mouvement de rotation continuel l'axe sur lequel étaient fixés les deux rochets. De là enfin ce mouvement se communiquait, au moyen d'une grande roue d'engrenage, à un pignon dont l'arbre portait un *volant destiné à accumuler la quantité de mouvement, et une manivelle servant à différents usages. Le volant, qui avait accumulé la quantité de mouvement de la machine pendant qu'elle recevait l'action du premier moteur, se trouvait en état d'en entretenir le jeu dans les intervalles où celui-ci cessait d'agir.* Il paraîtrait que M. Fitz Gérald fit exécuter un modèle de sa machine; mais toutes les recherches que fit M. Watt à cet égard prouvent qu'il ne lui en fut pas délivré de brevet. Fitz Gérald, dit Robison, proposa de construire des *moulins de toute espèce* (1),

(1) La même idée vint, en 1781, à l'abbé Arnal, chanoine d'Alais, en Languedoc, qui en proposa l'application

mus par la vapeur; mais il ne paraît pas que ses propositions aient été bien accueillies du public, qui refusa de lui accorder sa confiance.

On ne se servait déjà plus de la machine de Savery; et, lorsque Smeaton eut découvert les principes et les proportions d'après lequels devaient être construites les machines atmosphériques, il devint pour ainsi dire inutile de s'occuper du perfectionnement des anciennes machines.

ESSAI D'UNE NOUVELLE CONSTRUCTION DE CHAUDIÈRES, PAR BRINDLEY.

Le célèbre Brindley, en 1759, essaya de réduire la quantité de charbon consumée dans les fournaux des machines à vapeur, en construisant en bois le couvercle et les parties latérales de la chaudière, sur un fond en pierre. Le foyer était situé dans l'intérieur

pour la navigation des gabares dans l'intérieur des terres ce qui, plus tard, dit-on, fut exécuté avec le plus grand; succès en Amérique. Son frère, officier de génie au service autrichien, en tira meilleur parti : il en fit l'application aux manufactures, et trouva des protecteurs à Vienne. (Voy. *Journal encyclopédique*, 1781.) Mais tous ces projets sont de beaucoup postérieurs à celui de M. Fitzgerald, ainsi qu'à l'exécution de différentes machines à vapeur construites par MM. Watt et Boulton, ce que nous croyons devoir faire observer ici dans l'intérêt de la justice. (Dr Robison, *Encyclop. britann.*)

de la chaudière et entouré d'eau. Mais on fut obligé de renoncer à cette disposition, en raison de l'extrême facilité avec laquelle le bois se détériorait par le contact de la vapeur : ce fut alors que Brindley eut recours à des chaudières de fer ayant une enveloppe de bois (1). Smeaton, vers la même époque, commença à employer également le bois pour former la partie inférieure du piston à vapeur, sans que toutefois il en résulta un bien grand avantage.

Plusieurs machines avaient été exécutées en France d'après le système de Newcomen, dont on avait aussi fait maintes applications en Hollande. Blakey en construisit quelques unes sur le plan de Savery pour dessécher les marais. En 1760 la machine atmosphérique fut mise en usage dans les possessions anglaises d'Amérique; on ne désigne

(1) Quant à cette méthode d'entourer d'eau le foyer, M. Robison rapporte que ce fut Watt qui le premier la mit en pratique. « De mon temps, dit Watt dans une note « qu'il ajoute au rapport du docteur, on connaissait « déjà la manière de faire circuler la flamme au travers « de l'eau, et les applications en étaient nombreuses dans « les mines de Cornwall. L'inventeur n'en est point con« nu; mais ce qu'il y a de certain, c'est que l'un des « principaux propagateurs de ce procédé fut un nommé « Swaine. » (Robison, *Mechan. phil.*, art. *Steam engine.*) M. Watt apparemment ignorait que cette invention eût été l'objet d'un brevet; mais le fait est qu'elle est antérieure à

pas à quoi on l'employa, et peu de temps après on en vit deux dans la Nouvelle-Angleterre, dont l'une servait à épuiser les eaux d'une mine de cuivre. Toutes ces machines, aussi bien celles qui étaient établies en France qu'en Hollande et en Amérique, avaient été construites en Angleterre.

La prospérité du commerce avait donné un nouvel essor en même temps qu'une plus sage direction au génie de la mécanique. Les manufactures de laine, étendant les limites de leurs opérations, en réclamèrent les secours comme devant apporter une grande économie dans la main-d'œuvre et dans le temps. Le commerce des cotons, qui depuis a pris une si prodigieuse extension, commençait alors à s'établir; et la nouveauté des procédés

Brindeley, dont le seul mérite fut de la remettre en pratique. M. Moray et le docteur Goddard, au commencement de l'année 1663, proposèrent, « comme un moyen d'économiser le métal, de brasser la bière dans une chaudière dont « le fond seul serait en cuivre, garni dans le milieu d'un globe « de même métal, ayant une ouverture à sa partie inférieure « pour recevoir le feu ». Glauber, au lieu de chaudières se servait de *tonneaux de bois*, et, pour y faire bouillir l'eau, y rattachait un petit globe de cuivre placé dans un fourneau qu'il chauffait avec du charbon de terre. « Ingénieuse « idée, dit Hooke, et dont, en la mûrissant, l'on pourrait « tirer peut-être un excellent parti pour les brasseurs, les « teinturiers, et autres artisans dont la profession exige une « grande consommation d'eau chaude. »

qu'exigeait la préparation de ces fils ne contribua pas moins que l'importance de cette fabrication à stimuler l'esprit des mécaniciens et à le tourner vers de nouvelles inventions. La machine atmosphérique, généralement employée à l'épuisement des mines, commençait, depuis la proposition de Fitzgerald, à être regardée comme fournissant une puissance (1) susceptible d'une application universelle; cette espérance fit sentir aux artisans la nécessité d'acquérir des connaissances plus exactes et plus variées que lorsqu'on n'avait pour faire jouer les pompes et autres machines alors en usage que la force de l'eau, du vent ou des chevaux.

Le désir de mettre à profit ce goût toujours croissant pour la mécanique fit concevoir à des hommes entreprenants le projet non moins lucratif qu'honorable de se répandre dans les principales villes des provinces, et d'y ouvrir différents cours sur les branches les plus intéressantes de la mécanique théorique. Dans quelques colléges même on vit les professeurs, pour se conformer à l'es-

(1) On s'en était aussi servi comme premier moteur communiquant *indirectement* un mouvement de rotation, en l'employant à monter de l'eau à une certaine hauteur, d'où elle se déchargeait sur une roue à eau ordinaire; méthode à laquelle on avait aussi quelquefois recours dans les machines de Savery.

prit du temps, s'attacher à mettre plus de clarté et de simplicité dans l'exposé des principes qui pouvaient avoir trait à la mécanique ; et de ce nombre, il faut le dire à leur louange, étaient tous ces grands hommes qui, vers le milieu du dix-huitième siècle, remplissaient les chaires du collége de Glasgow. Les membres de cette université se distinguèrent toujours par le zèle et les lumières avec lesquels ils travaillèrent aux progrès et à la propagation de la science ; et ce désir si généralement répandu de la faire servir aux commodités de la vie, cette impulsion qui devint la source intarissable de la prospérité de cette belle ville, aussi célèbre par l'esprit entreprenant et l'immense crédit de ses commerçants que par l'habileté de ses ouvriers, furent les fruits de leurs nobles et généreux efforts.

Le musée de cette célèbre institution possédait alors la collection la plus complète de modèles de toutes les machines en usage, et entre autres un petit modèle de la machine à vapeur, incident remarquable dans les annales de la mécanique, en raison de l'importance des résultats qu'il fournit l'occasion d'obtenir.

Nous avons eu, dans le cours de cet ouvrage, plusieurs fois occasion de citer le nom du docteur Robison comme celui de l'auteur le plus recommandable et le plus digne de foi parmi ceux qui ont tracé l'histoire de la machine à vapeur. En ef-

fet les articles qu'il a insérés dans l'Encyclopédie britannique lui font infiniment honneur, et le placent, sans contredit, au rang du petit nombre des mécaniciens anglais à qui la nature ait accordé le rare talent d'exposer leurs connaissances si vastes et si variées, dans un style assez clair et assez simple pour se faire écouter et comprendre de l'artisan, et assez élégant pour faire plaisir à l'homme instruit. Nous avons cependant cru qu'il était de notre devoir de signaler quelques erreurs qui se sont glissées dans son ouvrage; et nous l'avons fait avec d'autant plus de soin que le crédit dont il jouit est tel, que ses erreurs même font autorité: elles ont contribué à induire en erreur des auteurs qui, par leur connaissance de cette matière, et par les occasions qu'ils avaient de faire les observations nécessaires, auraient été vraisemblablement plus exacts s'ils n'avaient pas cru pouvoir s'en rapporter sans examen à ce qu'avait dit le docteur.

Robison, à l'époque dont nous parlons, était encore fort jeune. Il étudiait à l'université de Glasgow, et s'y occupait exclusivement de recherches sur la mécanique. Il s'y était étroitement lié avec M. James Watt, à qui l'on venait de confier le soin du cabinet renfermant la collection des modèles de machines et des instruments de physique. A cette époque le mécanisme de la machine à vapeur occupait déjà le docteur, et il avait entrevu

la possibilité d'en étendre l'emploi à divers objets auxquels d'autres mécaniciens plus tard en firent effectivement l'application. Mais, indépendamment de ses propres recherches et du talent qu'il a montré par la supériorité de son histoire des machines à vapeur et de leur perfectionnement, il se recommande encore par le service qu'il rendit à la mécanique en tournant le premier l'attention de son jeune ami (1) vers les nouveaux perfectionnements dont cette machine était susceptible.

(1) James Watt naquit à Greenock, en 1736. Son père, qui était un des magistrats de la ville, passait, dans le cercle étroit des personnes qui l'entouraient, pour un homme d'une extrême bonté. M. Watt, dès son enfance, s'était montré d'une santé fort délicate, et c'est peut-être à cette circonstance qu'il faut attribuer cet excessif amour de l'étude, ce goût pour la retraite, qui l'ont constamment distingué pendant le cours de sa longue et honorable carrière. Lorsqu'il eut achevé ses études à l'âge de seize ans, il fut mis en apprentissage chez un fabricant d'instruments de mathématiques, avec lequel il resta quatre ans. Il se rendit alors à Londres, où il entra chez un autre fabricant bien supérieur au premier par l'étendue de son commerce et son habileté personnelle. Là il prit des habitudes d'exactitude et d'ordre. Mais un jour que, pendant l'hiver, il était assis auprès de la porte de la boutique, il gagna un rhume si violent qu'il en ressentit les effets jusqu'à l'âge de soixante ans, époque à laquelle les migraines qui en étaient le résultat cessèrent seulement de le tourmenter. Au bout d'un an, voyant sa santé s'affaiblir, il retourna en Ecosse, et s'établit à Glasgow, où il commença à travailler pour son

« Ce fut, dit Watt (1), le docteur Robison, alors
« à peu près de mon âge, et étudiant à l'université de
« Glasgow, qui le premier, en 1759, porta mon at-
« tention sur les machines à vapeur. Il émit l'idée
« d'en faire diverses applications, et entre autres de
« les employer à faire tourner les roues des voitures;
« mais il ne poursuivit pas ce projet, et un voyage
« qu'il entreprit à l'étranger le lui fit bientôt com-
« plétement abandonner.

« En 1761, ou 1762, je fis, à l'aide de la mar-
« mite de Papin, divers essais sur la force de la va-
« peur, et je parvins à former une espèce de ma-
« chine à vapeur, en adaptant au couvercle du di-
« gesteur une seringue d'un tiers de pouce de dia-
« mètre, garnie d'un piston solidement fait, et
« d'un robinet qui ouvrait ou fermait le passage
« de la vapeur, non seulement de la marmite
« dans la seringue, mais encore de celle-ci dans
« l'air. Lorsque la communication s'ouvrait en-
« tre le digesteur et la seringue, la vapeur se
« précipitait dans celle-ci, et, par l'action qu'elle
« exerçait sur le piston, soulevait un poids con-

compte. Dans la même année 1757, il fut nommé fabricant d'instruments de mathématiques de l'Université, et à ce titre il obtint un logement dans le collége, où il se livrait à ses occupations comme avant. (*Mémoires de Playfair*, *Month. mag.*, 1819.)

(1) Récit de ses inventions, dans la *Philos. mecan.* de Robison, vol. 2, art. *Steam engine*.

« sidérable (quinze livres) dont il était chargé.
« J'entretenais cette communication jusqu'à ce que
« le piston fût arrivé à une certaine hauteur; alors
« je la fermais pour en établir une autre entre la se-
« ringue et l'air extérieur: la vapeur s'échappait, et
« le piston redescendait, poussé par son poids. La
« même opération se répétait indéfiniment; et, bien
« que dans cette expérience j'eusse à tourner moi-
« même le robinet avec la main, il était facile de
« voir comment il aurait été possible de le faire faire
« par la machine elle-même, et avec la plus grande
« régularité. Mais j'abandonnai bientôt le projet de
« construire une machine sur ce principe, parce que
« j'y apercevais quelques uns des inconvénients que
« l'on reprochait à celle de Savery : la chaudière
« pouvait éclater; et puis il devait y avoir une perte
« considérable dans la force de la vapeur, aucun
« vide ne s'effectuant pour faciliter le mouvement
« du piston (1). »

Le temps et les soins qu'exigeait de M. Watt sa profession (2) l'empêchèrent de pousser plus loin

(1) Cette disposition ne diffère en rien de celle que représente notre figure de la machine à haute pression de Leupold, et fournit une nouvelle preuve à ajouter à plusieurs autres que divers individus, sans se connaître, se sont trouvés être les auteurs d'inventions toutes semblables.

(2) Elle était alors bien différente de celle qui s'exerce aujourd'hui sous le même nom à Londres et dans les grandes villes de province. Elle ne se bornait pas simplement à

ses recherches à cette époque. Mais dans l'hiver de 1763, ayant été chargé de réparer une machine de Newcomen, qui appartenait à la classe de philosophie naturelle de l'université, ses idées furent naturellement ramenées sur ce sujet. A cette époque, ainsi qu'il nous l'apprend, il avait puisé les connaissances qu'il avait en mécanique dans Bélidor, mais surtout dans Desaguliers. Il se mit à réparer la machine, *comme un simple mécanicien ;* mais, quand tout fut achevé, et qu'il la voulut mettre en mouvement, il fut tout surpris de voir que la chaudière ne donnait point suffisamment de vapeur, bien qu'elle parût assez grande, puisqu'elle portait neuf pouces de diamètre, et que le cylindre en avait deux, sur six de long. En augmentant l'activité du feu, il parvint cependant à obtenir quelques impulsions de la machine ; mais elle exigeait alors une énorme quantité d'eau d'injection, bien qu'elle ne fût que

faire et à réparer les instruments en usage dans les expériences de mécanique et de physique, mais elle comprenait encore la fabrication première de toute espèce d'instruments de musique, le nettoyage et le raccommodage des horloges de bois, le tracé des lignes sur les cadrans solaires, et enfin toute la besogne d'un médiocre coutelier. Comme fabricant d'instruments, M. Watt en général avait à s'occuper de tous ces détails ; mais la plus grande partie de son temps, il l'employait à faire ou à réparer des tire-lignes, des compas, des trébuchets, des balances et des poids.

légèrement chargée par la colonne d'eau que contenait la pompe. Il lui vint bientôt à l'esprit que cela pouvait provenir de ce que le petit cylindre présentait pour la condensation de la vapeur une surface comparativement plus grande que celle des cylindres des grandes machines. Il diminua donc la colonne d'eau, et alors la vapeur que fournissait la chaudière fut suffisante pour que la machine marchât régulièrement avec une médiocre quantité d'eau d'injection. Il s'aperçut ensuite que les cylindres de ce modèle, fait en cuivre, étaient beaucoup meilleurs conducteurs de la chaleur que les cylindres de fonte, généralement employés dans les plus grandes machines, mais qui ont souvent l'inconvénient de se revêtir d'une incrustation. Il en conclut qu'il y aurait un avantage considérable à faire le cylindre d'une matière qui s'échauffât et se refroidît plus difficilement. Il mit donc tremper dans de l'huile de lin du bois qu'il fit ensuite sécher au four, et s'en servit pour construire un petit cylindre de six pouces de diamètre sur douze de long (1). Il fit plusieurs expériences avec cet appa-

(1) « La première tentative de perfectionnement que fit « M. Watt sur la machine à vapeur consista, dit Farey dans « l'Encyclopédie de Recs, à faire usage d'un cylindre de bois « qui transmît la chaleur plus difficilement; mais cette dispo- « sition ne lui ayant réussi que sous quelques rapports et « nullement sous d'autres, il fut obligé d'y renoncer, aussi

reil ; mais, d'une part, des cylindres de bois ne semblaient pas devoir durer ; et de l'autre, la vapeur qui se condensait en les remplissant excédait encore proportionnellement la quantité qui se perd ainsi dans les machines de plus grande dimension. Il lui fut également prouvé que, si la température de l'enveloppe du cylindre n'était pas aussi basse que celle de l'intérieur où le vide avait été effectué, il se produirait de la vapeur à l'aide de l'humidité dont le bois était imprégné à une température suffisante pour résister jusqu'à un certain point à la pression de l'atmosphère. Aussi tous les efforts que fit Watt pour obtenir un vide plus parfait,[1] par l'injection d'une plus grande quantité d'eau froide, ne donnèrent en résultat définitif qu'une perte plus considérable de vapeur, l'excessif refroidissement que produisait dans l'enveloppe du cylindre la surabondance d'eau d'injection exigeant, pour qu'elle se rechauffât, l'emploi d'une quantité de vapeur dont la perte n'était pas alors compensée par le peu d'avantage qui pouvait résulter d'un vide plus parfait. Sous ce rapport les anciens ingénieurs avaient agi très prudemment en ne chargeant la machine que

« bien que M. Brindley, qui avait précédemment tenté le « même essai. » — Il y a quelque chose d'inexact dans cette dernière assertion de Farey : car ce fut sa *chaudière*, et non son cylindre, que Brindley construisait en bois.

de six ou sept livres par pouce carré du piston (1). »

M. Watt (2), par diverses autres expériences, découvrit que la vapeur occupait un espace environ dix-huit cents fois plus grand que l'eau qui l'avait fournie. Une autre fois, étonné de la *quantité d'eau* qu'il fallait injecter, et de la *grande chaleur* qu'elle recevait du peu d'eau qui, sous la forme de vapeur, remplissait les cylindres, il chercha, mais vainement, à s'expliquer la cause de ce phénomène. « J'en « parlai, dit-il, à mon ami le docteur Black, qui me « développa alors sa doctrine du *calorique latent*, « dont il avait conçu l'idée quelques années aupara- « vant. Absorbé moi-même par mes travaux et mes « propres recherches, j'avais pu entendre parler de

(1) M. Watt, ayant examiné dans plusieurs machines de Newcomen l'eau chaude qui sortait par le tuyau de décharge, trouva que sa température variait de 142° à 174° du thermomètre de Fahrenheit, ou 61°,1 et 78°,8 du thermomètre centigrade, selon la charge du piston, et quelques autres circonstances. Il pensa qu'on la pouvait regarder comme un indicateur certain de la chaleur intérieure des cylindres.

(2) Le docteur Ure, dans un excellent dictionnaire de chimie, raconte en ces termes les premières expériences de M. Watt sur le calorique latent de la vapeur. « Dans les con- « versations, dit-il, dont ce grand homme, l'ornement de son « siècle et le bienfaiteur de son pays, m'honora, peu de temps « avant sa mort, il me raconta avec une admirable simplicité « les expériences décisives qui le conduisirent à la découverte « du calorique latent de la vapeur. Sa fortune et son temps « ne lui permettant pas alors de se procurer un appareil com-

« cette nouvelle doctrine sans y donner toute l'at-
« tention qu'elle méritait, *jusqu'au moment où je*
« *me vis ainsi arrêté devant l'un des principaux faits*
« *sur lesquels repose cette admirable théorie* (1). »

De nouvelles reflexions amenèrent bientôt Watt à se convaincre que, pour obtenir de la vapeur toute la force dont elle est susceptible, il fallait constamment entretenir les cylindres à un degré de chaleur égal à celui de la vapeur qu'ils recevaient. Il reconnut aussi qu'après la condensation de la vapeur, l'eau qui en était le produit, aussi bien que l'eau d'injection, devaient être ramenées à 100 degrés de Fahrenheit, 37,7 centigrades, et même, s'il était possible, à une température encore plus basse.

« plet, il se servit de ces petites fioles qu'emploient les phar-
« maciens. Ce fut avec des moyens aussi incomplets qu'il con-
« stata l'existence de deux faits importants, savoir: —Le pre-
« mier, qu'un pouce cube d'eau est susceptible de fournir un
« pied cube ou 1728 pouces de vapeur ordinaire;—Le second,
« que dans la condensation de cette quantité de vapeur il
« se dégage une quantité de chaleur suffisante pour élever
« jusqu'à l'ébullition, sous la pression atmosphérique ordi-
« naire, six pouces cubes d'eau. Il en conclut que six fois la
« différence de la température de l'atmosphère avec celle du
« point d'ébullition, ou 800 degrés de chaleur, avaient été
« employés à donner à la vapeur son élasticité, et qu'il n'y
« avait de vide parfait à espérer sous le piston de la ma-
« chine qu'autant qu'on épuiserait cette chaleur jusqu'au
« dernier degré. » (Art. *Caloric.*)

(1) *Philos. mecan. de Robison*, vol. 2, p. 117.

Les moyens d'exécution nécessaires pour obtenir ces deux grands résultats ne s'offrirent pas d'abord à M. Watt au moment où il venait de déduire ces sages conséquences. Mais au commencement de 1765, il lui vint dans l'esprit que, *s'il ouvrait une communication entre le cylindre contenant de la vapeur et un autre vase vide d'air et de tout autre fluide, la vapeur, en raison de son expansibilité, se précipiterait dans ce dernier vase, jusqu'à ce que l'équilibre fût établi ; et que, si par injection ou autrement l'on entretenait ce vase constamment froid, la vapeur, s'y condensant à mesure qu'elle y entrerait, continuerait à s'y écouler jusqu'à parfaite condensation de toute celle qui était dans le cylindre.*

Ainsi fut résolu le problème regardé jusque là comme insoluble par tous les ingénieurs précédents, la production du vide sans le refroidissement du cylindre (1).

Mais si le vide se faisaint, ou à peu près, dans les

(1) Hornblower, dans son histoire de la machine à vapeur, dit que, « pendant que M. Watt travaillait à la perfectionner, M. Gainsborough, chef d'une congrégation « presbytérienne à Henley-sur-Tamise, et frère du peintre « de ce nom, conçut l'idée d'arriver à ce résultat en con- « densant la vapeur du cylindre dans un vaisseau à part, « où l'on aurait eu soin de faire le vide. Il alla même jusqu'à « faire plusieurs expériences dans l'intention de rendre prati- « cable l'application de ce principe. Il plaça près du cylindre « un petit vaisseau qui ne devait recevoir de la chaudière

deux vaisseaux, comment alors en retirer l'eau d'injection, l'air qui s'y introduisait avec elle, et l'eau que produisait la condensation de la va-

« qu'autant de vapeur qu'il en fallait pour opérer l'écoule-
« ment de l'air et de l'eau de condensation. Cet écoulement
« s'exécutait absolument de la même manière que la sortie
« de l'eau hors du cylindre lui-même dans la machine
« de Newcomen, où elle s'opère, comme nous l'avons vu, à
« l'aide d'un tuyau de descente et d'une soupape reniflante.
« Il n'employait ainsi pour produire cet effet qu'autant de
« vapeur qu'il en fallait, et sans que, au moment de la
« décharge, elle communiquât en aucune façon avec le
« cylindre principal, ce qui entretenait celui-ci sans in-
« terruption au plus haut degré de chaleur que lui pût com-
« muniquer la vapeur. On ignore si, comme M. Watt, il
« donna une enveloppe à son cylindre; mais il est vrai que
« le modèle de sa machine inspira tant de confiance que des
« ingénieurs de Cornouailles, qui étaient venus l'examiner
« par ordre des entrepreneurs, firent un rapport assez fa-
« vorable pour qu'on songeât à l'adopter. Ceci se passa peu
« de temps après que M. Watt eut obtenu du parlement
« une nouvelle prolongation de délai, et il venait de pro-
« poser aux entrepreneurs de Cornouailles de leur envoyer
« ses machines. Il s'établit nécessairement une concur-
« rence. L'avantage en resta à M. Watt; mais M. Gains-
« borough s'en dédommagea en publiant partout que ce
« mode de condensation hors du cylindre avait été porté à la
« connaissance de M. Watt par l'indiscrétion d'un de ses
« amis, parfaitement instruit de ses projets. Cette cir-
« constance, telle que nous venons de la rapporter, se
« trouve confirmée non seulement par la déclaration qu'en
« fit le frère de M. Gainsborough à M. Th. More, secré-
« taire de la société d'encouragement pour les arts, de

peur ? — M. Watt parvint à résoudre cette difficulté en adaptant au *condenseur* un tuyau dont la longueur excédait celle d'une colonne d'eau équivalente à la pression de l'atmosphère, et en proposant l'emploi d'une pompe pour épuiser l'air, ou l'air et l'eau tout à la fois.

On ne pouvait plus dès lors employer l'eau sur le piston pour empêcher l'introduction de l'air dans le cylindre : en effet, l'eau qui aurait filtré dans un *cylindre* en partie vide et encore *chaud* serait entrée aussitôt en ébullition, et aurait produit une vapeur dont l'effet n'eût pas été seulement d'empêcher le vide, mais de refroidir encore le cylindre

« qui nous tenons ces détails, mais encore par la pétition « que M. Gainsborough lui-même fit présenter à la chambre « des communes par le général Conway. » (*Hornblower*, dans *Gregory's mech.*, p. 552, vol. 2, 1re édition.) Voici sur ce rapport aussi extraordinaire qu'inexact les commentaires que fait le docteur Brewster : « Nous aimons à « croire, par respect pour la mémoire d'un homme fort « recommandable, que les faits ne se sont pas passés comme « on les rapporte. On se rappelle que M. T. More figura « comme témoin dans le procès de Bolton contre Bull, en « 1792, époque à laquelle M. Hornblower lui-même fut « également appelé en témoignage, mais du côté opposé à « M. More. M. More, interrogé s'il avait jamais lu l'ex- « posé de l'invention de M. Watt, et si, selon lui, il « renfermait une exposition exacte des principes de la ma- « chine à vapeur, répondit : Je suis parfaitement d'avis « qu'elle expose ces principes d'une manière aussi complète « que claire et démonstrative. On lui demanda alors

par son évaporation durant la chute du piston. — *Watt proposa alors d'enduire de cire ou de suif le tour du piston pour rendre plus facile son jeu et empêcher qu'il ne livrât passage à l'air.*

M. Watt reconnut bientôt que, l'orifice du cylindre restant ouvert, l'air qui remplissait la partie supérieure lors de la descente du piston sur lequel il agissait devait nécessairement enlever à l'enveloppe une partie de sa chaleur; que, par suite, lorsque le cylindre se remplissait de nouveau de vapeur, il fallait qu'il s'en condensât une certaine quantité pour élever l'enveloppe au niveau de la température intérieure. Ce fut alors qu'il imagina

« s'il savait que l'application en eût été faite avant de « connaître la machine de M. Watt. A quoi il répondit: « Je déclare que, avant la construction des machines à va- « peur établies par M. Watt, je n'avais jamais vu ni lu « aucune application des principes qu'il émet dans son « exposé. — Il est difficile de faire accorder ces deux ré- « ponses faites sur serment par M. More avec les paroles que « lui prête M. Hornblower, à la page 328. Quelle que fut, « au reste, l'idée de M. Gainsborough, il est constant « qu'elle est de plus de vingt ans postérieure à celle de M. « Watt. » (*Edinburgh Review*, 1809.)

M. Robison, dans la description qu'il donne de cette amélioration du condenseur, en parle comme d'une application qui aurait été faite à la machine de Newcomen. Or c'est à quoi ne paraît pas avoir jamais pensé M. Watt, qui, dans une de ses notes, s'exprime ainsi: « D'abord je proposai « de substituer la vapeur à l'atmosphère pour agir sur le « piston, et mon modèle fut construit en conséquence. »

d'adapter au cylindre un couvercle qui le fermait hermétiquement, quoique percé d'une ouverture où s'ajustait une boîte à étoupes et dans laquelle glissait la tige du piston, et de faire arriver sur ce dernier la vapeur, dont l'élasticité déterminerait sa descente, causée jusque là par la pression de l'atmosphère.

Tel fut son second pas vers le perfectionnement complet de sa machine; et sans avoir aucunement diminué sa puissance, la dépense du combustible et la perte de la vapeur se trouvèrent réduites au tiers de ce qu'elles étaient précédemment; et la machine devint à proprement parler une machine à vapeur, n'ayant d'autre force motrice que ce fluide, tandis que jusque là elle avait toujours eu pour cause de son mouvement la pesanteur de l'air.

L'air atmosphérique, en refroidissant la partie extérieure du cylindre, produisait intérieurement la condensation d'une certaine quantité de vapeur: *Watt pensa à remédier à cet inconvénient en recouvrant le cylindre d'une enveloppe de bois ou de tout autre corps qui serait mauvais conducteur de la chaleur.*

« L'idée une fois conçue, dit cet admirable mé-
« canicien, d'opérer la condensation hors du cylin-
« dre, toutes les autres améliorations s'effectuèrent
« avec une incroyable rapidité; tellement que, dans
« l'espace *d'un ou deux jours, mon plan fut parfai-*
« *tement arrangé dans ma tête*, et que, pour en

« faire l'essai, je le mis de suite à exécution. »

Le modèle dont il se servit consistait en une seringue de cuivre, d'un pouce trois quarts de diamètre sur dix de long, garnie supérieurement et inférieurement d'une plaque d'étain ; ce cylindre portait un premier tuyau à deux branches destiné à amener la vapeur aux deux extrémités du cylindre, et à établir une communication entre elles. Deux robinets permettaient ou empêchaient le passage de la vapeur de la chaudière au cylindre, et d'un bout du cylindre à l'autre ; un second tuyau conduisait la vapeur de la partie supérieure de ce même cylindre dans la capacité où elle devait être condensée. Un trou était intérieurement percé dans la longueur de la tige du piston ; il était fermé à son extrémité inférieure par une soupape qui s'ouvrait pour donner passage à l'eau que pouvait avoir produite la condensation de la vapeur, à l'instant de son admission dans le cylindre. Le *condenseur* se composait de deux tuyaux d'étain de dix ou douze pouces de long sur $\frac{1}{6}$ de pouce environ de diamètre, verticalement placés, et communiquant par le haut à un bout de tuyau horizontal, de large diamètre. Ces tuyaux se réunissaient par leur base à un autre tuyau vertical d'un pouce environ de diamètre, servant de corps de pompe pour l'air et pour l'eau, et baignant, ainsi qu'eux, dans un bassin rempli d'eau froide (1).

(1) Cette expérience est différemment racontée par diffé-

Table (1) *des forces élastiques de la vapeur d'eau à différentes températures.*

ÉLASTICITÉ de la vapeur en prenant la pression de l'atmosphère pour unité.	HAUTEUR de la col. de mercure qui mesure l'élasticité de la vapeur.	TEMPÉRATURE correspondante sur le thermomètre centigrade.	PRESSION exercée par la vapeur sur un centimèt. carré de la soupape.
Atmosphères.	Mètres.	Degrés.	Kilogrammes.
1	0,76	100	1,063
1 1/2	1,14	112,2	1,549
2	1,52	122	2,066
2 1/2	1,90	129	2,582
3	2,28	135	3,099
3 1/2	2,66	140,7	3,615
4	3,04	145,2	4,132
4 1/2	3,42	150	4,648
5	3,80	154	5,165
5 1/2	4,18	158	6,681
6	4,56	161,5	6,198
6 1/2	4,94	164,7	6,714
7	5,32	168	7,231
7 1/2	5,70	170,7	7,747
8	6,08	173	8,264

(1) Cette table a été dressée par l'Académie royale des sciences.

TARIF des Machines à vapeur, installées à terre construites dans les ateliers de Manby Wilson *à Charenton*, *et* Aitken *et* Steel *à la Gare.*

FORCE en CHEVAUX.	SYSTÈME de WATT, basse pression, double effet. (Manby.)	SYSTÈME de WATT et BOLTON. (Aitken.)	SYSTÈME AITKEN et STEEL.	SYSTÈME WOOLFE comme HALL et PERRIER.	SYSTÈME TREVITHICK, dite haute pression.
	fr.	fr.	fr.	fr.	fr.
2ch.		7,300	12,000	8,500	6,600
4	10,000	9,500	15,000	12,000	8,800
6	13,000	12,000	19,000	14,100	11,500
8	16,000	15,500	23,900	18,000	14,300
10	20,000	19,500	28,600	22,000	17,000
20	35,000	34,500	47,600	38,000	30,000
30	«	47,000	59,800	52,000	44,000
40	62,000	61,500	78,500	66,000	57,700
50	76,000	74,000	87,400	74,000	69,800
60	«	82,500	97,900	82,500	79,200
80	«	100,500	118,800	102,000	98,400
100	«	119,000	138,600	120,000	118,000
120	«	129,000	149,600	130,000	127,000

La consommation du charbon dans les machines des quatre dernières colonnes est garantie, savoir :

Pour une machine d'Aitken et Steel de la force de 2, 4, 6, 8 et 10 chevaux ; 6, 10, 15, 20 et 25 kil. par heure.

Pour une machine de Woolfe, force de 2, 4, 6, 8, 10 chevaux ; 10 16, 21, 28, 34 kilog., même espace de temps.

Les machines de Watt et Trevithick, force de 2, 4, 6, 8, 10 chevaux 14, 27, 36, 46, 56 kilog.

La proportion d'accroissement, pour les machines plus puissantes suit, à peu de chose près, la même loi.

peur destinée à empêcher la vapeur de s'échapper le long de la tige du piston, boîte dont l'application n'avait pas encore été faite, et de l'enveloppe extérieure destinée à prévenir la dissipation du calorique par le rayonnement, l'invention était parfaite sous le rapport de l'économie de la vapeur et du combustible. Pour s'assurer des avantages qu'il s'était promis de cette nouvelle disposition, M. Watt la fit exécuter en grand avec un cylindre revêtu d'une enveloppe de bois, dont l'effet surpassa ses plus vives espérances.

Plus tard on changea cette forme du condenseur, parce qu'on trouva que, pour ramener, dans les grandes machines, la vapeur à l'état liquide par l'immersion du condenseur dans l'eau froide, il fallait employer des vaisseaux d'une vaste et incommode dimension. Un autre inconvénient fut aussi reconnu; il provenait de la nature des eaux dont s'alimentent fréquemment les machines : c'est qu'il se formait rapidement sur les parois extérieures du condenseur une croûte pierreuse qui affaiblissait singulièrement et détruisait même sa puissance conductrice.

En 1764, à l'époque de son mariage avec mademoiselle Miller, M. Watt quitta l'appartement qu'il occupait au collége, et s'adonna, d'après l'avis d'un de ses oncles, qui quelquefois l'aidait dans ses travaux, à l'arpentage et à la levée des plans. Il ne tarda pas y acquérir une certaine habileté, et plus d'une fois il lui arriva d'être consulté sur

la construction et le meilleur plan de canaux et de ports, dont quelques uns ont été depuis exécutés. Est-ce le peu de loisir que lui laissait sa nouvelle profession, ou le mauvais état de sa santé, ou le manque de fonds, ou la crainte des difficultés (1) qu'il devait avoir à surmonter, qui l'empêchèrent de constater sa découverte, et de s'en assurer les avantages par un brevet? C'est ce que nous ignorons. Ce qu'il y a de certain, c'est que, bien qu'il en sentît toute l'importance, il ne la poussa pas plus loin à cette époque. Avec ce rare et profond génie qu'il avait reçu de la nature, M. Watt était si peu communicatif, si réservé dans le commerce ordinaire de la vie, que son extrême défiance ne lui permit jamais de faire part de ses découvertes, ni de s'en ouvrir même à ses amis. Il manqua toujours de cette espèce de confiance qu'il lui aurait fallu pour se produire lui ou ses projets auprès des gens dont la protection aurait pu lui en faciliter l'exécution.

Smeaton (2), en 1765, avait construit une machine atmosphérique *portative*, qu'il avait employée à l'épuisement des eaux. Plus tard, deux ans après, environ, MM. John Stewart (3) et Dugald Clarke, firent diverses tentatives pour transformer en mouvement circulaire le mouvement

(1) *Revue d'Edimbourg*, 1809.
(2) *Smeaton's Reports*, vol. 1.
(3) Brevet à la date de 1769.

de la machine de Newcomen, leur intention était d'employer cette machine dans les moulins à sucre de la Jamaïque; mais la disposition en était si compliquée et si facile à se déranger, qu'on ne tarda pas à y renoncer. En 1768, on avait employé, pour extraire le charbon des mines d'Hartley, une machine atmosphérique. A l'extrémité du balancier s'adaptait un secteur denté, dont les dents engrenaient avec les fuseaux d'une lanterne; celle-ci, au moyen de deux pignons et de roues à rochets, produisait un mouvement circulaire toujours le même, soit que le secteur descendît ou montât: il suffisait de changer les rochets, pour pouvoir à volonté changer aussi le mouvement et lui donner une direction contraire. La machine était sans volant, et marchait irrégulièrement et avec lenteur (1).

M. Watt, dans l'exercice de son nouvel état, avait eu occasion de se lier avec le docteur Roebuck, riche gentilhomme anglais, doué d'un esprit entreprenant et alors lancé dans des spéculations sur l'exploitation des mines de charbon et des salines de Borrowstoness, dans le comté de Linlithgow. L'intérêt que portait ce gentilhomme à M. Watt mit enfin celui-ci à même de construire une de ses machines, à Kinneil, à un mille environ de Borrowstoness; elle fut placée à l'ouver-

(1) *Revue d'Edimbourg*, 1809.

ture d'un puits de mine, dans les terres du duc Hamilton. Le cylindre avait d'abord dix-huit pouces; mais comme cette machine était en quelque sorte un essai, elle fut successivement modifiée jusqu'à ce qu'elle eut été portée à un grand point de perfection (1). Ce fut pendant que cette machine se con-

(1) M. Farrey, art. *Steam engine*, Encyclopédie de Rees.
« Le docteur Robison (dit Watt dans une lettre à son « ami le docteur Brewster), dans l'article *Steam engine*, « après m'avoir accordé quelques éloges dictés par l'amitié, « me représente comme l'élève et l'ami du docteur Black. « Cette dernière assertion, dont il ne déduisait alors au« cune conséquence, ne me frappa pas d'abord à l'époque « où il l'émit. Mais plus tard, dans la dédicace qu'il me fit « du cours de chimie de Black, il va jusqu'à me faire dire « que je dois aux conseils et aux instructions de ce profes« seur les perfectionnements que j'ai apportés dans la ma« chine à vapeur. Cette assertion ne saurait être que l'effet « d'une méprise de sa part : car, bien que je sois pénétré « de la reconnaissance que je dois au docteur pour le profit « que j'ai pu tirer de ses conversations, et surtout de la « connaissance de sa théorie du calorique latent, je n'ai « jamais regardé ni pu regarder mes perfectionnements « comme les fruits de mes rapports avec lui. Robison ne « se montre pas plus exact ailleurs, quand, dans la préface « dont il fit précéder l'ouvrage ci-dessus mentionné, il « avance que j'avais suivi deux cours du docteur: car, « malheureusement pour moi, absorbé par les occupations « de mon état, je ne pus jamais trouver le loisir d'assister « à ses cours, non plus qu'à aucun de ceux du collége. Que « si de là je passe à l'opinion du docteur Black lui-même, « ainsi exprimée : « L'heureuse observation que je fis de ce

struisait, dans l'hiver de 1769, qu'afin de recueillir paisiblement le fruit de son industrie, M. Watt s'occupa d'obtenir un brevet, qui lui fut accordé au mois d'avril suivant. Dans une circonstance aussi importante, il ne peut pas être inutile de rapporter les paroles de l'inventeur, que ses admirables appli-

« qui se passe dans la formation et la condensation de la « vapeur n'a pas laissé que de contribuer singulièrement « au bien public, en *suggérant* à mon ami M. Watt, alors « à Glasgow, l'idée de ses perfectionnements de la machine « à vapeur », j'avoue que, quelle que soit ma répugnance à « démentir une assertion de mon estimable ami, je ne puis « m'empêcher ici de dire que je le crois dans l'erreur. Ces « perfectionnements en effet reposent sur ce premier fait de- « puis long-temps établi, que la vapeur se condense par le « contact des corps froids; et sur cet autre moins ancienne- « ment connu, que l'eau émet encore des vapeurs au-des- « sous de 100° Fah., 40° centig.: d'où il résulte que, pour ob- « tenir le vide, il faut à chaque coup de piston refroidir « le cylindre et son contenu au moins au-dessous de 100 « degrés. »

Thomson, dans ses mémoires du docteur Black, a copié Robison. « La découverte qu'il fit, dit-il, du calorique « latent, est la plus importante peut-être du dix-huitième « siècle, non seulement parce qu'elle constitue toute la « théorie de la chaleur telle que l'ont adoptée les chimistes, « mais encore parce qu'elle fournit à M. Watt l'occasion de « perfectionner la machine à vapeur, appareil dont les « avantages ont opéré une révolution complète dans nos « manufactures. » Dans un autre paragraphe on ajoute: « La théorie du calorique latent a conduit M. Watt au per- « fectionnement de la machine à vapeur, qui a apporté de « si grands changements dans nos manufactures, dans nos

cations placent si justement parmi les mécaniciens les plus illustres et à côté de Ctesibius et d'Hooke. (1)

« Ma méthode pour diminuer la dépense de « la vapeur, et par conséquent celle du combus- « tible employé pour alimenter les foyers des ma- « chines, est basée sur les principes suivants : *Pre-* « *mièrement*, il faut que la capacité dans laquelle « doit agir la vapeur pour mettre en mouvement la « machine, capacité qu'on appelle cylindre dans les « machines à feu ordinaires, et à laquelle je donne « le nom de vase à vapeur; il faut, dis-je, que cette « capacité, pendant tout le temps que la machine « est en jeu, soit entretenue au même degré de cha- « leur que la vapeur qui y est introduite. Or il est « facile d'obtenir ce résultat, soit en couvrant le cy- « lindre d'une enveloppe de bois ou de toute autre « matière qui laisse difficilement échapper la cha- « leur, soit en l'entourant de vapeur ou autres corps « échauffés, ou enfin en n'y laissant pénétrer ni eau, « ni aucune autre substance plus froide que la va- « peur, dont le simple contact pourrait avoir des in- « convénients. *Secondement*, il faut que la machine « fonctionne en totalité ou en partie par l'effet de « la condensation de la vapeur, et cette condensa-

« procédés d'exploitation des mines ; et dont l'application « offre de si prodigieuses ressources à l'industrie humaine. » (*Encyclopédie d'Edimbourg*, vie de Black.)

(1) *Phil. nat. de Young*, vol. 1, pag. 366.

« tion doit toujours s'opérer hors du cylindre et dans « un vaisseau séparé, bien que communiquant mo- « mentanément avec lui. Ces vaisseaux, que j'ap- « pelle *condenseurs*, doivent, pendant tout le temps « que marche la machine, être entretenus au degré « de température de l'air extérieur, par l'application « d'eau ou autres corps refroidissants. *Troisième- « ment*, tout air ou tout fluide élastique qui, s'étant « dégagé pendant la condensation produite par le « froid du condenseur, pourrait entraver le jeu de la « machine, doit en être extrait au moyen d'une pom- « pe manœuvrée par la machine même, ou autre- « ment. *Quatrièmement*, je me propose dans plu- « sieurs circonstances, pour *agir sur les pistons*, « ou toute autre pièce qui pourrait les remplacer, « de substituer l'emploi de la force *expansive de la « vapeur* à celui de la pression atmosphérique, main- « tenant en usage dans les machines à feu ordinai- « res. Dans le cas où il serait difficile de se procurer « de l'eau froide en quantité suffisante pour la con- « densation, la machine pourrait encore marcher « par *la force de la vapeur*, avec cette seule modi- « fication qu'on laisserait la vapeur s'échapper *dans « l'air* dès qu'elle aurait achevé ses fonctions. *Cin- « quièmement* (1), lorsque j'ai besoin d'un mouve-

(1) Une roue de six pieds de diamètre, mue par la force de la vapeur, agissant, dans un canal circulaire, d'un côté sur une soupape, et de l'autre sur une colonne de mercure, fut

« ment circulaire, je donne *aux vases à vapeur la* « *forme d'anneaux creux, avec des passages con-* « *venablement ménagés pour l'entrée et la sortie* « *de la vapeur; chaque cercle ou anneau est monté* « *sur un axe ou arbre horizontal, comme la roue* « *d'un moulin à eau*. Ces anneaux, dans leur ca- « vité, sont garnis d'un certain nombre de soupapes « qui ne laissent circuler l'air ou la vapeur que dans « un sens. Dans l'intérieur de leur circonférence « sont des poids disposés de manière à fermer exac- « tement le passage, sans cependant qu'ils cessent « de pouvoir se mouvoir avec facilité. La vapeur, « dans ces machines, dès qu'elle est introduite en- « tre les poids et les soupapes, agissant également « sur les deux pièces, fait lever le poids d'un côté « de la roue, et par sa réaction successive sur les « soupapes donne à la roue un mouvement de ro- « tation; les soupapes ne s'ouvrent que dans le sens « de la pression du poids. La roue, tout en tour- « nant, reçoit de la chaudière la vapeur néces- « saire, qui, après avoir fait ses fonctions, ou se « condense dans un condenseur, ou bien s'échappe « dans l'air. *Sixièmement*, je me propose dans cer- « taines occasions d'employer *un degré de froid qui,*

exécutée à Soho; plusieurs essais furent faits avec cet appareil, qui fut en définitive abandonné, en raison des inconvénients qu'il présentait. (M. Watt, dans Robison, vol. 2, pag. 133.)

« *sans être tel qu'il ramène la vapeur à l'état liqui-*
« *de, la contractera assez pour que le jeu de la*
« *machine ne soit produit que par la dilatation et la*
« *contraction alternative de la vapeur. Septième-*
« *ment,* et enfin, au lieu d'eau pour empêcher le
« piston et autres parties de la machine de livrer pas-
« sage à l'air ou à la vapeur, j'emploie de *l'huile, de*
« *la cire, du suif, des matières résineuses, du*
« *mercure et autres métaux à l'état liquide* (1). »

Ces divers perfectionnements furent combinés avec un art admirable dans une de ses machines. Le balancier, la chaudière, la tige de pompe garnie de chevilles, servant à manœuvrer le régulateur, tout cela fut conservé, sauf quelques légers changements dans la disposition du mécanisme. Les soupapes furent aussi d'une construction différente, qui en rendait l'usage préférable.

Dans la figure XIX, le tuyau *d* amène la vapeur d'une chaudière que l'on n'a pas représentée ici, afin de pouvoir donner plus en grand les principales parties de l'appareil. *C* est un boîte carrée, renfermant une soupape *c,* qui, selon qu'elle s'élève ou s'abaisse, ouvre ou ferme la communication entre la chaudière à vapeur et le tuyau *o.* Celui-ci conduit la vapeur dans le cylindre, au-dessus du piston, en *i,* ou dans la boîte carrée *z.* Cette boîte contient

(1) *Specification of patent,* 1796.

deux soupapes, *e, f,* qui s'élèvent ou s'abaissent alternativement. Quand la soupape *e* est levée, la vapeur peut se précipiter du tuyau *o* dans le cylindre, au-dessous du piston, par le tuyau *u*. Quand c'est la soupape *f* qui est levée, la vapeur contenue dans la partie inférieure du cylindre peut s'échapper dans le tuyau *g*, qui aboutit au condenseur *h*. Le mécanisme qui fait mouvoir les trois soupapes *c, e, f,* est combiné de telle manière que *c* et *f* sont ouvertes en même temps ; quand elles se ferment, *e* s'ouvre, et ainsi de suite alternativement. *Y Y* est l'intervalle qui sépare le cylindre de son enveloppe, appelée sa chemise. Cet espace était autrefois rempli avec du charbon pilé ou un autre corps mauvais conducteur; plus tard on eut l'idée d'y faire arriver la vapeur. On atteignit ainsi parfaitement le but que l'on s'était proposé, qui était d'empêcher que la chaleur du cylindre à vapeur ne se communiquât par le rayonnement à l'air extérieur et ne se dissipât sans utilité. *b,* piston à vapeur suspendu à l'extrémité du balancier *y*, au moyen de la tige *x*; *n n*, chevilles fixées sur la poutrelle ou verge *l*, qui remplit en même temps les fonctions de tige du piston de la pompe à air, communiquant avec le condenseur. Lorsque cette poutrelle monte ou descend, les chevilles *n n* frappent sur les extrémités des bras de leviers *m m m*, qui, au moyen d'un ressort, font mouvoir les soupapes *c, e, f.* Le condenseur *h* communique au cylin-

dre par les tuyaux *u* et *g*, et au corps de la pompe à air par le tuyau *s*, muni d'une soupape qui s'ouvre en dehors. Le piston de la pompe à air était semblable à ceux que l'on emploie ordinairement dans les pompes à eau, avec cette différence toutefois qu'au lieu d'être en cuir, les charnières étaient en métal. La pompe à air est garnie près de son sommet d'un bout de tuyau *k*, portant à son extrémité une soupape qui ouvre en dehors dans la bâche *r*. Le condenseur et sa pompe baignent dans une cuve dont on entretient l'eau aussi froide que possible par l'extraction de l'eau échauffée par la condensation. L'eau est renouvelée dans la cuve *R* par le jeu constant d'une pompe *q*, puisant dans la mine, ou tout autre réservoir. Le piston de cette pompe est mis en mouvement par une tige attachée au balancier. Le tuyau *k* verse l'eau tirée du condenseur dans une bâche *r*, qu'on appelle réservoir à eau chaude, séparée du réservoir à eau froide *R*, dans lequel est placé le condenseur, ainsi que le représente la figure. De cette citerne *r*, l'eau chaude est élevée par la pompe *A*, dont la tige est mue par le balancier; elle est conduite dans la chaudière, où elle remplace celle qui en est sortie à l'état de vapeur. *p*, tuyau d'aspiration qui plonge dans le réservoir à eau chaude et qui aboutit au corps de pompe *A*; *N*, soupape ou robinet d'injection mue par une tige *j*, portant à son extrémité supérieure un bras de levier *m*, sur lequel frappe une che-

ville *n*. Cette soupape permet à un instant déterminé l'introduction dans le condenseur d'un jet d'eau froide destiné à accélérer la condensation de la vapeur. *B* est un ouvrage de maçonnerie ou de charpente, sur lequel repose le cylindre; *v*, poteau servant de point d'appui aux bras de leviers *m m m*. Il est remplacé dans quelques machines par des tasseaux fixés au cylindre. *w*, collet ou boîte à étoupes, dont M. Watt fit usage le premier : elle sert à empêcher la vapeur de s'échapper par l'ouverture dans laquelle glisse la tige du piston. La tige de la pompe qui puise l'eau dans la mine est attachée à l'extrémité du balancier opposée à celle qui fait manœuvrer le piston du cylindre, de la même manière que dans la machine atmosphérique. (Le défaut d'espace ne nous a pas permis de représenter cette pompe dans la figure.) Le bras du balancier du côté de la mine et les tiges qu'il porte doivent être d'une pesanteur plus grande que celle de l'autre bras du balancier, de manière que, lorsque le piston *b* du cylindre *a* n'est pas pressé en dessus par la vapeur, l'extrémité *y'* du balancier retombe d'elle-même et force le piston à remonter depuis le fond jusqu'au sommet du cylindre. Celui-ci est surmonté d'un couvercle, portant la boîte remplie d'étoupes imbibées de suif, dans laquelle glisse la tige du piston : par ce moyen toute communication se trouve interrompue entre l'air extérieur et l'intérieur du cylindre et le condenseur.

Si nous supposons maintenant l'appareil dans la position où la figure nous le représente, et la chaudière suffisamment remplie de vapeur, on ouvrira simultanément les soupapes *c*, *e*, *f*. La soupape d'injection *N* étant fermée; la vapeur à l'instant se précipitera, par le tuyau *o*, au-dessus et au-dessous du piston, et jusque dans le condenseur *h*. Dès que le cylindre aura acquis une chaleur suffisante, la vapeur descendra dans le condenseur; en raison de sa moindre pesanteur, elle occupera la partie la plus élevée, et chassera au travers de la soupape *F* tout l'air qui remplissait l'intérieur de l'appareil et celui qui se sera dégagé pendant la condensation de la vapeur dépensée pour chauffer les parois du cylindre et les divers tuyaux. Alors la soupape *e* se ferme; et si l'on ouvre le robinet d'injection *N*, un jet d'eau froide ramène à l'état liquide la vapeur qui remplissait le condenseur, et celle qui se trouvait dans le cylindre, qui, par suite de la tendance des fluides à se mettre de niveau, se précipitera par les tuyaux *u* et *g* en *h*, à mesure que la condensation s'y effectuera. Il y a dès lors vide dans le cylindre et dans le condenseur. Dans les grandes machines, cette condensation s'opère avec une si prodigieuse rapidité, qu'en pratique on la peut considérer comme instantanée. La communication entre la chaudière et le dessus du piston étant alors ouverte, la force élastique de la vapeur qui agit sur celui-ci,

ne trouvant aucune résistance à vaincre de l'autre côté, chassera le piston dans l'espace vide jusqu'à ce qu'il atteigne le fond du cylindre. Sa descente détermine celle de la poutrelle *l*, et des chevilles *n n*, qui, frappant sur l'extrémité des bras de leviers *m m*, correspondant aux soupapes *c*, *f*, font baisser celles-ci, et non seulement empêchent l'introduction de la vapeur dans le tuyau *o*, mais encore toute communication entre le condenseur et le bas du cylindre.

Le piston de la pompe à air étant suspendu au même bras du balancier que celui du cylindre arrive également au fond de son corps de pompe, et force l'air et l'eau qui étaient au-dessous de lui à passer sur sa tête, à travers les soupapes ou clapets dont il est garni et qui ne s'ouvrent que de bas en haut. La soupape *s*, qui s'ouvre en dehors du condenseur, ne permet pas à l'air ou à l'eau de rentrer dans celui-ci.

Il s'agit alors de faire remonter le piston à vapeur au sommet du cylindre.

Le bras du balancier auquel s'adapte le piston de la pompe de mine doit être, avons-nous dit, plus lourd que celui auquel sont suspendus les pistons du cylindre et de la pompe à air, et cela pour qu'il agisse comme contre-poids et fasse monter le piston à vapeur.

Mais avant que ce contre-poids puisse agir, il faut avoir chassé la vapeur et l'air qui ont fait descen-

dre le piston et pressent encore sur sa tête. M. Watt y parvint à l'aide d'une disposition fort simple, et cependant si ingénieuse qu'elle ne montre pas moins la supériorité de son esprit que l'invention même du condenseur. Il établit une communication entre le bas et le haut du cylindre au moyen d'un tuyau dans le haut duquel se trouve la soupape *e*, qui s'ouvrait lorsque les soupapes *c f* se fermaient. Ainsi l'ouverture de la soupape *e* permettait à la vapeur qui se trouvait sur la tête du piston de passer dessous, et celui-ci, entraîné par le poids de l'autre extrémité du balancier, montait dans un milieu où il n'éprouvait point de résistance.

L'ouverture de ces diverses soupapes se fait très vivement et le mouvement ascensionnel du piston est presque aussi rapide que celui qui le ramène au bas de sa course. Lorsqu'il est arrivé à une certaine hauteur, une cheville agit sur l'extrémité du levier qui correspond à la soupape *e*, et la ferme, tandis que, au même instant, d'autres chevilles, agissant respectivement sur leurs leviers, déterminent de nouveau l'ouverture des soupapes *c* et *f*, qui s'y rattachent.

La vapeur qui, au travers du tuyau *o* et de *e*, avait passé du sommet du cylindre dans sa partie inférieure sous le piston, s'écoule alors au travers de l'ouverture que laisse la soupape *f*, par les tuyaux *u*, *g* (comme à la première descente du

piston), et à l'instant se forme dans le cylindre un vide qui permet à la force expansive de la vapeur qui est arrivée par la soupape *c* sur la tête du piston de chasser celui-ci, jusqu'à ce qu'une seconde fois il arrive au bas de sa course. Les chevilles alors et les leviers ouvrent *e*, ferment *c* et *f*, et le contre-poids de nouveau fait monter le piston. Nous avons dit que ce contre-poids devait être calculé de manière à faire remonter le piston, mais il a aussi à élever l'eau qui se trouve sur le piston de la pompe à air.

Le jeu de cette pompe est fort simple. L'eau qui afflue dans le condenseur par le robinet d'injection *N*, légèrement augmentée du petit volume de celle que produit la condensation, tombe au fond du condenseur *h*. Le mouvement ascensionnel de la tige *l* formant le vide dans le corps de pompe *i*, la soupape *s* s'ouvre alors et livre passage à l'eau du condenseur *h*, pendant que celle que portait la tête du piston dégorge par *k* dans le réservoir à eau chaude. Ce même piston en redescendant agit sur l'eau contenue dans le fond du corps de pompe; mais cette eau ne peut retourner dans le cylindre, dont le passage lui est fermé par la soupape du conduit *s*: il faut donc qu'elle soulève les clapets du piston, qui, se refermant à l'instant où celui-ci commence à monter, élèvent tout à la fois l'air et l'eau qui sont au-dessus du piston, jusqu'au moment où ils se déchargent par *k*. L'eau chaude qui sort de

cette pompe est reportée de nouveau dans la chaudière par la pompe *A*.

Dans les premiers essais que fit M. Watt du condenseur, il produisait le vide par le refroidissement extérieur du cylindre, comme dans les machines atmosphériques. Mais y il reconnut aussi le même inconvénient, celui d'une condensation très lente et très imparfaite. Ce fut alors qu'il essaya d'introduire *un jet dans le tuyau de communication du cylindre et du condenseur,* jet qui, à l'aide des perfectionnements dont il devint l'objet, finit par s'effectuer de la manière que nous représente la figure. Le robinet d'injection est armé d'un levier *m*, à l'effet d'augmenter ou de diminuer l'ouverture qui donne passage au jet, selon qu'il est à propos d'en augmenter ou diminuer le volume pour opérer la condensation. Or il est évident que ce volume doit varier, soit en raison de la température de l'eau injectée, soit en raison du degré de tension de la vapeur à condenser. Ce levier et son manche se voient entre *e* et *f*, et la boîte en saillie *N* est celle qui contient le robinet.

L'usage, avant M. Watt, avait toujours été de former le balancier de plusieurs poutres qu'on attachait et reliait fortement ensemble, pour lui ôter toute espèce de flexibilité. Smeaton en avait construit quelques uns sur un plan habilement calculé. Mais les frais énormes qu'ils entraînaient, puisqu'il y en eut qui ne coûtèrent pas moins de

huit cents et de neuf cents livres sterling présentaient un inconvénient qui, joint à celui de l'énormité de leurs poids et de leur masse, fit qu'on les abandonna, pour leur en substituer d'autres, que l'on fit moins massifs : on parvint, en les soutenant avec des verges de fer, à leur donner toute la solidité nécessaire. Pour reconnaître l'avantage de ce dernier perfectionnement, il suffit de comparer au balancier de la figure que nous avons sous les yeux celui que construisit Smeaton pour la machine qu'il établit aux mines de Chacewater. (1)

Pendant le cours de ses expériences, avant même qu'il eût obtenu son brevet, M. Watt avait observé ce phénomène aujourd'hui connu sous le nom d'expansion de la vapeur dans le vide; et, dans une lettre qu'il écrivait alors au docteur Small, de Birmingham, datée de Glasgow, mai 1769, il lui parlait de l'intention où il était de faire servir cette découverte à ses projets, comme un moyen, disait-il, d'augmenter l'effet de la vapeur et d'en diminuer la dépense. « Je vous ai, dit-« il, parlé d'un moyen de doubler l'effet de la va-

(1) « Un des premiers ingénieurs que nous ayons jamais eus, dit Hornblower, construisit une de ces machines dont le poids et le volume étaient tels que, pour la mettre en mouvement, il faudrait un cylindre d'une puissance égale à celle de quarante chevaux. »

« peur. Rien n'est plus facile : il n'y a qu'à utiliser « la force *de la vapeur qui s'élance dans le vide,* « *force qui jusqu'ici a été entièrement perdue.* Ce « moyen en effet ferait plus que doubler la puis- « sance de la machine; mais l'emploi de cette pro- « priété de la vapeur nécessiterait de trop gran- « des capacités pour qu'on pût l'utiliser tout « entière. Ce procédé est plus particulièrement « applicable aux machines à roue, car elle peut « suppléer à l'absence d'un condenseur là où la force « de la vapeur agit seule : en effet, si vous ouvrez « l'une des soupapes, que vous laissiez arriver la « vapeur jusqu'à ce qu'elle ait rempli le quart de la « distance qui sépare la soupape ouverte de la « soupape suivante, et que vous la refermiez, la « vapeur continuera à se dilater, en pressant con- « tre les parois de la roue avec une force toujours « décroissante, jusqu'à ce qu'elle soit réduite au « quart de ce qu'elle était d'abord. Si vous comp- « tez les tours, vous trouverez que leur nombre a « fait plus que doubler, bien qu'il n'y ait eu de dé- « pensé qu'un quart de la vapeur. » La phrase suivante n'est pas moins remarquable : « Cette « puissance, il est vrai, agira inégalement; mais « il sera facile de remédier à cet inconvénient « par l'emploi d'un volant ou de quelque autre « moyen. » (1)

(1) *Revue d'Edimbourg*, année 1809.

Après la construction de sa machine à Kinneil, M. Watt commençait à faire ses dispositions pour former un établissement où l'on construirait ses machines sur un vaste plan; mais par suite des pertes qu'éprouva son associé, le docteur Roebuck, dans l'exploitation des mines, pertes qui mirent ce dernier dans l'impossibilité de faire les versements qu'il avait promis, les fonds manquèrent à Watt, et il se vit à la veille de renoncer à l'exécution de ses projets. Toutefois, avec le consentement du docteur, des négociations furent entamées avec M. Matthieu Bolton, gentilhomme de Birmingham, qui, quelques années auparavant, y avait fondé un établissement, et s'était fait la réputation de l'un des manufacturiers les plus habiles et les plus entreprenants du royaume. Ces pourparlers se terminèrent par une transaction passée en 1773, époque à laquelle M. Roebuck, aux conditions les plus avantageuses pour lui-même, fit abandon de ses droits à M. Bolton.

Un avenir plus brillant s'offrit alors à M. Watt. Son nouvel associé était un homme recommandable par son mérite, et jouissant d'une grande fortune et d'un grand crédit. « Au cœur le plus généreux « et le plus chaud il unissait un esprit singuliè- « rement entreprenant, qui lui faisait aimer tout « ce qui était grand et difficile. M. Watt était ré- « servé, studieux, et fuyait le monde; au lieu que « M. Bolton était un homme remuant, actif, in-

« telligent, très répandu dans la haute société,
« et cependant ennemi des cérémonies et sachant
« se mettre à l'aise avec les hommes de toutes les
« classes. Quand M. Watt aurait cherché par toute
« l'Europe, il n'aurait pu trouver personne aussi
« propre à produire ses inventions d'une manière
« surtout aussi digne de leur mérite et de leur im-
« portance. Quoique tous deux fussent de mœurs
« tout-à-fait différentes, il semblait que le Ciel les
« eût faits l'un pour l'autre, car on ne vit jamais
« dans le commerce ordinaire de la vie plus d'har-
« monie qu'il n'en régnait entre ces deux hom-
« mes (1). »

A cette époque, M. Watt s'étant retiré à Birmingham, ses premiers soins furent consacrés à la construction d'une machine qu'il établit à Soho, où elle pourrait être examinée par les propriétaires de mines. Mais il réfléchit que le terme de son brevet expirerait avant qu'il eût seulement pu recouvrer les frais que devaient entraîner l'établissement de sa fabrique et l'acquisition des mécaniques nécessaires pour construire sur une grande échelle et avec le soin qu'il voulait y apporter. Vers la fin de 1774, il s'adressa donc au gouvernement pour obtenir une prolongation de délai. M. Bolton l'aida de son crédit et de ses conseils; le docteur Roebuck,

(1) *Memoir by Playfair.* Monthly magazine, 1819.

de son zèle et de ses démarches ; quelques amis, connus dans les sciences, affermirent par leur opinion hautement proclamée l'idée que l'on avait du mérite de ses inventions, et appuyèrent sa demande. Le parlement, en 1775, y fit droit, et lui accorda le privilége exclusif de construire ses machines perfectionnées pendant la durée de vingt-cinq ans, à partir du jour de la demande.

M. Bolton (1) devint alors son associé dans la fabrication de ses machines, et une partie de son établissement de Soho fut convertie en ateliers destinés à cet usage. Il régularisa la fabrication des dif-

(1) Quand le fameux Bolton eut terminé sa longue et active carrière, M. Watt, plein du souvenir de ses vertus, voulant payer à sa mémoire le tribut de sa reconnaissance, s'exprime ainsi : « Je formai avec M. Bolton une association « dont le terme expira en 1800, avec le privilége exclusif « que m'avait accordé le parlement. Alors je me retirai des « affaires. Mais notre intimité survécut à la dissolution de « cette société, et se maintint sans altération jusqu'à la fin « de sa vie. Je dois même, pour remplir les obligations « qu'elle m'impose, profiter de cette circonstance, la der- « nière peut-être qui me soit accordée de le faire avec toute « la publicité que je désire, et déclarer que c'est à ses bien- « veillants encouragements, à son amour des sciences, à son « habileté à en faire l'application aux arts, à sa profonde « connaissance du commerce et des manufactures, à son es- « prit entreprenant, enfin à la grandeur de ses vues, qu'il « faut en grande partie attribuer les succès qui ont pu cou- « ronner mes efforts. »

férentes pièces dont se composaient les machines, et le système qu'il introduisit dans leur exécution mit bientôt M. Watt en état de terminer plusieurs machines de grande dimension qui furent établies dans le Staffordshire, le Shropshire, le Warwickshire, et une petite fut envoyée jusqu'à Stratford près de Londres. (1)

Nous avons, jusqu'à présent, vu dans M. Watt un homme de génie, s'occupant du perfectionnement d'une machine de la plus grande importance pour le bien de la société. Quand il y eut mis la dernière main, et qu'il ne lui resta plus qu'à prendre les mesures nécessaires pour s'assurer le fruit de ses travaux, nous trouverons un homme délicat, dont la conduite à l'égard de ceux qui désiraient tirer parti de ses découvertes fut aussi noble et généreuse que les moyens qu'il employait pour prévenir toute difficulté étaient ingénieux et accommodants.

La règle qu'il avait établie à cet égard était d'exiger de celui à qui il avait fourni une de ses machines *le tiers du charbon* économisé en employant son appareil, comparativement à la dépense qu'exigeait une machine atmosphérique faisant la même quantité d'ouvrage et chauffée avec la même qualité de

(1) M. Farrey, dans l'*Encyclopédie de Rees*, art. *Steam engine.*

charbon. Afin d'obtenir des données positives pour l'évaluation de cette espèce de tribut, une série d'expériences fut entreprise par des hommes d'une habileté et d'une probité reconnues. Etant donnés la profondeur de la mine, le diamètre des corps de pompe, et le nombre des coups de piston avec une machine quelconque, ordinaire ou perfectionnée, il ne leur restait plus qu'à apprécier l'économie du combustible pendant un certain nombre de coups de piston, et ce prix devenait la base sur laquelle ils établissaient leurs calculs. Pour compter le nombre des coups de piston, on adapta au balancier un petit appareil, consistant en un système de roues renfermées dans une boîte, disposé de façon que chacun des mouvements ascendants ou descendants du balancier faisait avancer d'un pas les petites roues, ainsi qu'un petit index qui indiquait cette progression. Ce petit appareil s'appelait le *compteur*. Deux clefs seulement pouvaient l'ouvrir, dont l'une restait entre les mains des propriétaires de la machine, l'autre dans celle de MM. Watt et Bolton, qui avaient un commis voyageur chargé de reconnaître de temps à autre la situation des choses. On ouvrait en présence des deux parties les compteurs, et le tribut à prélever se trouvait déterminé par le nombre des coups de piston qui avaient été donnés. Ce prélèvement annuel, toutefois, pouvait être racheté par le paiement d'une somme une fois donnée, égale au pro-

duit de dix années. Il y avait différentes manières de disposer le compteur et de le faire marcher.

Pour engager les propriétaires qui n'avaient pas les moyens ou le désir de faire la dépense de nouvelles machines, MM. Bolton et Watt reprirent leurs anciennes machines atmosphériques à un prix beaucoup au-dessus de leur valeur; ils accordèrent en outre de grandes facilités pour le reste du paiement, qui ne devait s'effectuer que lorsque les économies promises auraient été faites. Ils allèrent même jusqu'à fournir plusieurs mines de machines établies à leurs propres frais, n'en exigeant le paiement qu'autant qu'elles produiraient l'effet qu'ils prétendaient devoir être le résultat de leur adoption. Enfin il fut prouvé plus tard que, dans leur spéculation, ils n'avaient pas déboursé moins de quarante-sept mille livres sterling (1,175,000 francs) avant d'en pouvoir retirer aucun profit.

Les mines de Chacewater furent, dans le Cornouaille, les premières où leurs appareils furent introduits. Playfair rapporte que l'on construisit pour cette exploitation trois machines des plus grandes que l'on eût encore vues, et il nous donne une effrayante idée de la dépense qu'occasionaient les machines ordinaires, quand il ajoute que les propriétaires des mines payaient annuellement la somme de 800 livres sterling (20,000 francs) pour prix du tiers du charbon économisé par la substi-

tution de chaque machine de Watt à celle de Newcomen.

La force expansive de la vapeur, découverte par M. Watt en 1769, et ensuite en partie adoptée pour régulariser le mouvement du piston, fut employée, en 1776 et 1778, comme un moyen d'économiser la vapeur dans des machines construites à la manufacture de Soho. Plus tard ce procédé fut décrit avec soin dans l'exposé de son brevet, en 1782. Les diverses parties dont se compose la *machine expansive* sont sous tous les rapports les mêmes que celles que nous avons déjà décrites; avec cette seule différence que les cylindres doivent être d'une plus grande dimension.

Si nous supposons maintenant le piston *b* dans la position où nous le représente la fig. XX, et le vide formé dans le cylindre par le moyen ordinaire d'une communication ouverte avec le condenseur, ouvrez la soupape 1, et laissez arriver la vapeur de la chaudière sur le piston, jusqu'à ce qu'elle l'ait fait descendre vers le milieu du cylindre, en *a,* je suppose; alors refermez la soupape 1, de manière à ce qu'elle ne donne plus passage à la vapeur: la quantité admise suffira pour chasser le piston jusqu'au fond du cylindre; et il est très remarquable que cette quantité de vapeur produira plus d'effet que si on eût laissé entrer la vapeur jusqu'à ce que le piston fût parvenu au bas de sa course. Supposons, par exemple, que la

chaudière contienne 100 pieds cubes de vapeur, cette quantité devra être employée à élever une certaine quantité d'eau, 100 pieds cubes, par exemple, lorsque la communication de la chaudière au cylindre restera ouverte depuis le commencement jusqu'à la fin de la course du piston : si cette communication se ferme au moment où la vapeur n'aura encore rempli que la *moitié* du cylindre, cette même quantité de vapeur, savoir, 100 pieds cubes, élèverait 170 pieds cubes d'eau. Si vous ne remplissez le cylindre qu'au tiers, vous obtiendrez encore plus d'effet que lorsqu'il était à moitié plein : car vous élèverez alors, toujours avec la même quantité de vapeur, 210 pieds cubes d'eau ; ou, ce qui est la même chose, quand le cylindre est rempli

en entier, l'effet est comme . .	1
à 1/2	1,7
au 1/3	2,1
au 1/4	2,4
au 1/5	2,6
au 1/6	2,8
au 1/7	3,0
au 1/8	3,2

ceci d'après la supposition que la vapeur se contracte et se dilate, par la différence de pression, dans les mêmes proportions que l'air. Il n'est pas

besoin de dire que ce principe s'applique également aux machines à double et à simple effet, et qu'on peut à volonté faire ou ne pas faire agir les machines ordinaires par la force expansive : il suffit pour cela de changer simplement la place des chevilles fixées sur la poutrelle verticale.

Dans la machine atmosphérique, l'introduction de la vapeur sous le piston n'avait d'autre but que de faire équilibre à la pression de l'atmosphère qui s'exerçait sur ce piston; tellement que celui-ci fût relevé par les contre-poids placés à l'autre bout du balancier. La vapeur n'avait donc pas besoin d'avoir une force supérieure à celle de la pression atmosphérique. Ainsi, dans cette machine, le vide étant formé sous le piston, la pression de l'air déterminait la descente; l'équilibre étant rétabli par l'arrivée de la vapeur, et le piston également pressé des deux côtés, les contre-poids le faisaient remonter.

Dans la machine à simple effet de Watt, soit que l'on laissât pénétrer la vapeur dans le cylindre pendant toute la course du piston, ou qu'on l'arrêtât lorsque le cylindre était à moitié ou au tiers plein, l'effet général était le même. Ce n'était plus la pression atmosphérique, mais bien la vapeur agissant sur la tête du piston, qui le faisait descendre : la vapeur n'était donc plus introduite dans le cylindre seulement, pour produire ensuite

le vide par sa condensation, mais aussi pour agir par sa propre force. Cette action cessait d'avoir lieu tant que durait celle des contre-poids, qui faisaient remonter le piston, et la vapeur introduite sous le piston ne produisait alors d'autre effet que de rétablir l'équilibre. Cette interruption de l'action de la vapeur, la lenteur qui en résultait dans les mouvements de la machine, ne furent pas considérés comme un grand inconvénient, tant qu'on n'employa la machine à vapeur qu'à faire mouvoir des pompes, d'autant que ce défaut lui était commun avec la machine atmosphérique. Mais lorsque l'on voulut faire servir la machine de Watt à imprimer le mouvement à un mécanisme quelconque, lui donner enfin une application générale, les résultats de cette irrégularité dans la vitesse de la machine devinrent plus sensibles, et il fallut avant tout chercher les moyens, sinon de faire cesser entièrement ces intervalles, du moins de les abréger beaucoup.

C'était à M. Watt qu'il était réservé d'ajouter ce nouveau perfectionnement à la machine, et de la modifier de manière à ce que l'élévation et l'abaissement du piston s'exécutassent par des moyens pareils et avec une égale quantité de force. Il ne lui en coûta pour effectuer ce changement qu'une légère extension de sa première idée. Il avait introduit la vapeur pour agir sur la tête du piston et le

faire descendre. Il établit alors une communication entre les deux côtés du piston, la chaudière et le condenseur; il dirigea la vapeur de manière qu'elle pressait alternativement en dessus et en dessous du piston; tandis qu'elle exerçait cette pression sur une des faces, le côté opposé était en communication avec le condenseur, et par conséquent le vide s'y formait : la pression de la vapeur n'était donc contre-balancée par aucune résistance; elle faisait *monter* aussi bien que descendre le piston.

Le mécanisme alors était aussi parfait que le comportait le principe, et pour la première fois on le dégagea de ces énormes masses, formant contrepoids, qu'on avait jusque là suspendues au balancier, depuis les premiers essais de Newcomen; ces énormes quantités de bois ou de fer nécessairement employées dans la construction de certaines pièces pour égaliser le mouvement disparurent également.

Le cylindre *a*, dans la figure XX, est revêtu d'une chemise ou enveloppe comme dans les machines à simple effet, laissant également entre elle et lui un intervalle qui peut être rempli de vapeur ou d'air. Le piston *b* est suspendu au balancier par la tige *x*. I, II, III, IV, sont des soupapes qui permettent l'introduction de la vapeur dans le cylindre, et établissent une communication entre les deux extrémités du cylindre en dessus et en dessous

du piston, et le condenseur. *g*, tuyau de conduite des boîtes renfermant les soupapes au condenseur; *o*, tuyau dont l'office est le même que dans la fig. XIX; *m m*, bras de leviers sur lesquels agissent les chevilles *n n*, fixées sur la tige de pompe *l*, et qui font ouvrir ou fermer les soupapes auxquelles ils correspondent. *h* est le condenseur; *L*, un tuyau qui établit la communication avec le corps de pompe à air *i*, et un autre de même nature *E*; *c*, tige du piston de la seconde pompe à air, attachée au même bras du balancier que celle de la première *l*; *F*, tuyau de conduite, portant l'eau de la pompe alimentaire *q* dans le réservoir où sont placés le condenseur et sa pompe; *k*, bâche ou réservoir à eau chaude où dégorge l'eau élevée par la pompe à air, et qui sort du condenseur pour être, de là, reportée par la pompe *M* et le tuyau *N* dans la chaudière; *G*, poulie; *H*, chaîne sans fin qui joue dans sa gorge, et entre dans celle d'une autre poulie fixée sur l'axe vertical du *modérateur* ou *pendule conique Z*. Une troisième poulie, qui est fixée sur l'axe du volant, n'est pas indiquée dans la figure; mais il est facile, en examinant celle-ci, de voir la place qu'elle doit occuper. *r* est le manche du levier qui règle la quantité d'eau d'injection à admettre dans le condenseur; *K*, boîte renfermant la soupape d'injection; *P P*, ouvrage de maçonnerie ou massif sur lequel reposent le cylindre et

les autres parties de la machine; *D*, tuyau qui porte la vapeur de la chaudière au cylindre; *B*, robinet ou soupape, nommé soupape à gorge ou régulateur : il est placé sur le tuyau qui amène la vapeur de la chaudière, et mis en mouvement par un levier qui a son point d'appui en *d*, et qui se rattache au pendule conique; *T*, *Q Q Q*, *W*, système de leviers, destiné à conserver à la tige sa verticalité, et auquel on donne le nom de parallélogramme; *z* est l'axe du balancier *y*.

La mise en mouvement de cette machine est la même que dans celles à simple effet, c'est-à-dire qu'elle s'effectue en ouvrant le robinet d'injection, après avoir admis la vapeur dans le cylindre à la fois et le condenseur.

Supposons cette première opération faite, et le piston arrivé au sommet du cylindre. Les chevilles *n n*, agissant sur les leviers *m m*, font alors ouvrir les soupapes I et IV, et fermer III et II. La vapeur arrivant de la chaudière presse sur la tête du piston, tandis qu'au-dessous il se forme un vide au moyen de la soupape IV, qui, en s'ouvrant, établit une communication entre la partie inférieure du cylindre et le condenseur. Le piston, dès lors, n'éprouvant aucune résistance, cède à l'impulsion qu'il reçoit de la vapeur, dont le ressort le précipite au fond du cylindre. Dans ce moment les chevilles, descendant avec la tige ou poutrelle qui les porte,

ferment les soupapes I et IV, et ouvrent III et II. La vapeur que fournit la chaudière ne peut plus arriver dans la partie supérieure du cylindre, mais pénètre dans le bas, et une communication s'établit entre le haut du cylindre et le condenseur. De là résulte un vide au-dessus du piston, qui alors remonte, chassé par l'élasticité de la vapeur, dont l'action dans cette circonstance supplée à celle du contre-poids indiqué dans notre dernière figure. Lorsqu'il est parvenu à la hauteur désirée, les chevilles de nouveau agissent sur les leviers, ferment le passage à la vapeur qui se précipitait au-dessous du piston, pour la laisser arriver au-dessus, et au même instant ouvrent une communication entre la partie inférieure du cylindre et l'appareil de condensation. Le piston aussitôt redescend, et ce mouvement alternatif peut se répéter indéfiniment.

La manière d'épuiser l'eau du condenseur étant la même que celle en usage dans la machine à simple effet, il suffira, pour la comprendre, de jeter les yeux sur notre figure. Pour laisser mieux apercevoir la section des quatre soupapes, nous avons omis un tuyau placé vis-à-vis de *o*, et dans une direction parallèle, et qui communique de la partie supérieure du cylindre au condenseur.

Connaissant la température de la vapeur qui fait agir le piston, l'aire du piston, et la vapeur qui

reste dans le condenseur sans être ramenée à l'état liquide, il est facile d'évaluer la puissance d'une machine à condensation. On sait par expérience que la vapeur à la température de 212° Fahr., 100° therm. cent., fait équilibre à la pression de l'atmosphère, ou, ce qui est la même chose, agit sur un piston dans le vide avec une force égale à environ quatorze livre trois quarts par pouce carré de la surface du piston. La différence de ressort de la vapeur contenue dans le condenseur et de celle qui sort de la chaudière sera donc la mesure de la puissance de la machine. Aussi l'on a reconnu qu'il y avait plus d'avantage à élever la température un peu au-dessus de 212° Fahr., de manière à produire une pression égale à dix-sept ou dix-huit livres par pouce carré de l'aire du piston. En pratique, cependant, en raison de l'imperfection du vide produit dans le condenseur et de la perte de force qui résulte soit du frottement du piston contre les parois du cylindre, soit de celui des différentes parties de la machine, cette pression de dix-huit livres par pouce carré du piston n'élève guère d'eau qu'à raison de huit livres et demie par pouce carré : ce qui prouve que le jeu de la machine elle-même absorbe à lui seul la moitié de la totalité de la puissance de la vapeur, et même un peu plus. La hauteur à laquelle peut-être élevée cette quantité d'eau dépend de la longueur du cy-

lindre, et pour l'élever deux fois plus haut avec le même piston, il faut employer le double de vapeur. La machine à condensation à double effet fera dans le même espace de temps le double d'ouvrage d'une machine à simple effet; mais elle exige une double quantité de vapeur : de sorte que, dans tous les cas, toutes choses égales d'ailleurs, l'ouvrage fait sera comme la quantité de vapeur employée.

Quand la vapeur n'agissait sur le piston que dans un sens, de haut en bas, il était facile, au moyen de chaînes, comme dans les figures précédentes, de communiquer son mouvement au balancier. Mais quand il fallut donner l'impulsion de haut en bas et de bas en haut, d'autres dispositions devinrent nécessaires pour rattacher l'un à l'autre le balancier et le piston; et l'une des conditions de ces dispositions fut de faire coïncider le mouvement de l'extrémité du balancier, qui décrit une portion de cercle, avec le mouvement rectiligne vertical que doit avoir la tige du piston. M. Watt, dans ses premières machines, avait coutume de garnir l'extrémité de son balancier d'un secteur *denté*, qui engrenait dans une *crémaillère* fixée à l'extrémité supérieure de la tige du piston : de cette manière, celle-ci se maintenait constamment dans la position verticale, soit qu'elle montât ou descendît. Mais cette disposition, indépendamment de son peu d'élégance, ne manœuvrait qu'avec grand bruit, et était sujette à se déranger facilement, surtout lors-

qu'on voulait donner une autre direction au mouvement. M. Watt remplaça cette disposition par le système de leviers, ou parallélogramme, représenté fig. XX, et que nous décrirons plus loin.

Même, après avoir égalisé le mouvement du piston, en arrêtant un peu plus tôt ou un peu plus tard l'introduction de la vapeur dans le cylindre, on reconnut une nouvelle cause d'irrégularité : elle résultait de la production plus ou moins rapide de la vapeur selon l'activité du feu entretenu sous la chaudière, et par suite de la quantité variable qui arrivait dans le cylindre par une même ouverture dans un même espace de temps. Plusieurs moyens de remédier à cette irrégularité furent proposés par M. Watt. Le premier, et celui qui est le plus généralement employé, parce qu'il est peut-être aussi le plus exact dans ses résultats, fut de placer dans le tuyau de communication de la chaudière au cylindre une soupape disposée de manière à élargir ou rétrécir à volonté le canal par lequel passe la vapeur. Ensuite il parvint à faire agir d'elle-même cette soupape, à laquelle il donna le nom de *soupape à gorge* ; et, pour cela, il l'ajusta de telle manière que, lorsque le mouvement du piston devenait trop précipité, elle le ralentît en admettant moins de vapeur dans le cylindre, et l'accélérât au contraire en en laissant passer une plus grande quantité lorsqu'il deviendrait trop lent.

Cette soupape est mise en mouvement par la tringle du modérateur.

Une semblable irrégularité dans le mouvement des moulins à farine, résultant de celle qui se manifestait dans les résistances et dans l'affluence des eaux, avait autrefois exercé l'industrie des meuniers, qui s'étaient occupés de trouver les moyens de remédier aux inconvénients qui en étaient la suite. Un des procédés les plus simples et les plus communément en usage était de suspendre à l'axe de la meule deux lourds poids, qui s'y rattachaient par deux verges à articulation et tournaient avec lui. Quand le mouvement des meules était trop rapide, celles-ci, se soulevant, ne donnaient plus qu'une farine grossière et mal moulue; quand au contraire il était trop lent, la farine devenait trop fine, ne se produisait qu'en petite quantité et s'échauffait? Ces poids, par leur action centrifuge, faisaient monter ou baisser un châssis dans lequel tournait l'arbre; et, selon le besoin, écartaient ou rapprochaient les meules l'une de l'autre. Cet ingénieux modérateur fut adopté par M. Watt, qui l'appliqua à sa machine perfectionnée pour y régler les mouvements de sa soupape à gorge. La figure XXI rendra cette explication plus facile à comprendre. *x* est une corde ou chaîne sans fin, qui embrasse une poulie *o*, enfilée sur la tringle verticale *o*, maintenue dans cette position par les crapaudines dans lesquelles elle tourne en *y* et en *z*; *a a*, deux globes fixés

à l'extrémité de leviers dont le point d'appui est en *v*. Ces leviers, ainsi que le représente la figure, forment le coude au point où ils touchent la tringle *e*, et, au moyen des deux charnières ou articulations *c c*, se rattachent à deux courts leviers attachés eux-mêmes à une espèce de cylindre de métal *n*, glissant librement de haut en bas sur la tringle verticale. Ce cylindre, dont la forme est indiquée dans la figure, est embrassé par les deux branches d'un levier à fourchette *f*; celui-ci à son point d'appui en *F*; il porte à son extrémité une tige ou bielle verticale *h*, à laquelle se rattache le levier, correspondant avec l'axe de la soupape à gorge. Tant que le piston n'aura que le degré de vitesse qu'il doit avoir, les globes tourneront autour de la tringle mue par la chaîne sans fin *x*, sans quitter la position où les représente la figure. Mais si le mouvement du piston venait à s'accélerer, il se transmettrait par la corde de la poulie à la tringle verticale *e*, et les globes, entraînés par la force centrifuge, s'écarteront et prendront la position représentée par les circonférences pointées *i i*. Il en résultera l'abaissement des extrémités *c c* des leviers auxquels ils sont attachés, ainsi que du cylindre *n* et de l'extrémité du levier horizontal qui vient y aboutir. Par suite, l'autre extrémité de *f* en *g* s'élèvera, et entraînera dans son mouvement la tige *h*, qui fermera en partie le passage de la vapeur. Le mouvement du piston devient-il au contraire trop

lent, au lieu de s'élever, les boules s'abaissent, et produisent un effet contraire sur les leviers; la soupape à gorge s'ouvre davantage, et laisse pénétrer une plus grande quantité de vapeur dans le cylindre.

Après avoir ainsi donné au mouvement de va et vient de ses machines la plus parfaite régularité, M. Watt s'occupa à le transformer en un mouvement de rotation continu. Nous avons vu que Stewart essaya vainement d'employer à cet effet des roues à rochets, et que l'invention de Hulls avait été oubliée. « Des nombreux projets qui me passè-
« rent par la tête, dit M. Watt, aucun ne me
« parut si propre à me conduire au but que je me
« proposais d'atteindre que l'application d'une sim-
« ple manivelle dans le genre de celle dont se sert
« le remouleur et qu'il fait mouvoir avec le pied :
« invention de grand mérite, ajoute-t-il par forme
« d'observation, et dont on ne connaît ni la date
« ni le modeste inventeur. Mais le mouvement,
« dans la meule du remouleur, n'est que le résul-
« tat de l'abaissement du pied agissant sur la ma-
« nivelle; et il se continue pendant que le pied se
« relève, par suite de la vitesse acquise par la
« meule, qui, dans cette circonstance, fait les
« fonctions de volant. Or mon intention n'était
« pas de charger ma machine d'un volant dont le
« poids fût capable d'entretenir le mouvement
« pendant l'ascension du piston. Je proposai donc

« d'employer deux machines agissant sur deux « manivelles fixées sur le même axe et formant « entre elles un angle de 120 degrés, et de placer « un poids sur la circonférence du volant au même « angle à l'égard de chacune des manivelles : par « ce moyen, le mouvement se trouvait égalisé, « et ne demandait pour continuer à l'être qu'un « très léger volant (1). »

Il y avait déjà long-temps que ces idées s'étaient présentées à M. Watt; mais exclusivement occupé du soin de construire des machines destinées à élever l'eau, il n'essaya qu'en 1778 et 1779 de mettre à exécution les projets qu'il avait confusément conçus jusque là. A cette époque, les fréquentes ruptures et les irrégularités auxquelles était sujette une machine semblable à celle de Fitzgerald, et pour laquelle M. Wasbrough de Bristol avait obtenu un brevet, ramenèrent de nouveau l'attention de M. Watt sur cette importante amélioration.

Le résultat des expériences qu'il tenta surpassa toutes ses espérances. Mais ayant négligé de se faire délivrer de suite un brevet, un ouvrier chargé d'exécuter le modèle de sa machine en donna communication à des personnes employées à la fabrique de M. Wasbrough; et, peu de temps après, un brevet fut obtenu par ou plutôt au nom de Steel, pour *l'application de la manivelle aux machines*

(1) Récit de Watt.

à vapeur. Le fait fut ensuite avoué par l'ouvrier, et même par l'ingénieur chargé de diriger les travaux de M. Wasbrough. Celui-ci, pour pallier le peu de délicatesse dont il avait fait preuve dans cette occasion, prétendit que la même idée lui était venue avant qu'il eût jamais entendu parler de celle de M. Watt, et que même il avait déjà fait exécuter un modèle lorsqu'il apprit qu'ils se rencontraient sur ce point. Sur quoi M. Watt observe avec une admirable candeur qu'il pouvait fort bien avoir dit la vérité, attendu que c'était une chose assez naturelle que l'application d'une *simple manivelle.* « Aussi, dit-il, je trouvai plus sage d'ar« river au même but par d'autres voies que d'in« tenter un procès et de rendre la chose publique, « en cherchant à faire casser le brevet (1). »

Pour obtenir par d'autres moyens que la manivelle la conversion d'un mouvement rectiligne en un mouvement circulaire, M. Watt inventa le système des roues qu'on appelle aujourd'hui *le soleil et les planètes.* L'effet général en est le même, mais avec cette différence qu'elles ont plusieurs avantages sur la manivelle quand il s'agit d'imprimer une grande vitesse au volant : car, dans le procédé de M. Watt, le volant est construit de manière à acquérir une vitesse double de celle qu'il pourrait recevoir de la manivelle. Il faut dire

(1) Récit de Watt.

aussi que la disposition n'en est pas aussi simple, que la construction en est plus coûteuse, et que ce système de roues est sujet à se déranger facilement, ce qui leur fait aujourd'hui préférer la manivelle Ce mécanisme est représenté dans la figure XXII. *x* est une bielle attachée sur un centre mobile à l'extrémité du balancier; *a*, l'axe du volant, qui peut tourner avec lui et lui communiquer le mouvement qu'il reçoit lui-même. La roue dentée *b* est solidement fixée à l'extrémité de la bielle *x*; cette roue engrène avec les dents de la roue *c*, fixée sur l'axe *a* du volant *z*, et tournant avec lui; les deux roues sont placées aussi près que possible l'une de l'autre et dans le même plan vertical. Lorsque le balancier s'abaisse, la roue *b* change de position et arrive en b^1, faisant faire à la roue dentée *c*, qu'elle entraîne dans son mouvement, une partie de révolution. Le mouvement est communiqué par l'axe *a* au volant *z*. La vitesse que celui-ci a acquise suffit alors pour faire passer la roue *b* sous le centre de *c* et pour venir en b^2. Le balancier, commençant alors à remonter, fait prendre successivement à la roue *b* les positions b^3, b^4, et imprime par suite à l'axe et au volant le mouvement de rotation nécessaire.

La manivelle et le volant pour lesquels M. Wasbrough a obtenu un brevet sont représentés fig. XXIII. *b* est la bielle attachée à l'extrémité du balancier. Au bout inférieure de cette bielle *b* est fixée

la manivelle *c*, dont dont le bras faisant coude est lié à l'axe du volant *z*, et peut tourner avec lui. Quand le balancier s'abaisse, il fait tourner la manivelle, et par suite le volant, dont la vitesse l'entraîne au-dessous du centre *E* : alors le balancier en s'élevant continue à communiquer le mouvement au volant.

La proportion des pièces doit être calculée de manière que, lorsque la manivelle est horizontale, le balancier occupe une ligne parallèle; que, lorsque la bielle et la manivelle sont toutes les deux dans une position verticale, la manivelle étant au-dessus du centre *E*, la longueur des axes permettra au piston d'arriver au fond du cylindre; que si au contraire la manivelle est au-dessous du centre *E*, le piston devra être au sommet du cylindre. Quand les proportions du cylindre, de la tige, du piston, de la bielle et de la manivelle sont exactes, le piston ne peut jamais venir frapper contre le fond ou le sommet du cylindre, accident qui arrivait même avec le système des roues dentées, et causait quelquefois des avaries graves.

Dans plusieurs circonstances il était important de connaître le degré du vide formé dans le condenseur, ou plutôt la tension de la vapeur qui pouvait y être restée. M. Watt y parvint en établissant une communication entre le condenseur et un tube barométrique recourbé, dont chaque branche a environ trente pouces de long. Ce tube est à moitié rempli de mercure et ouvert aux deux ex-

trémités : l'une d'elles communique par un tuyau au condenseur; l'autre doit se trouver accessible à l'air extérieur. L'effet qui se produit dans ce tube est le même que celui du baromètre ordinaire. Si le vide du condenseur est parfait, le mercure monte dans la branche du tube qui aboutit au condenseur à la hauteur barométrique de l'atmosphère. Mais comme il est rare qu'on obtienne ce vide dans les condenseurs ordinaires des machines à vapeur, le mercure ne s'élève habituellement dans le tube qu'en proportion de la différence de tension de l'air extérieur et de la vapeur qui existe encore dans le condenseur. Un autre tube semblable est adapté à la chaudière, à l'effet d'indiquer par l'élévation et l'abaissement du mercure l'élasticité de la vapeur. Celui du condenseur indique le degré de pression avec lequel l'atmosphère agit sur le mercure pour *entrer dans le condenseur;* et l'ascension du mercure dans la branche du tube ouverte à l'air extérieur indique la tension de la vapeur enfermée dans la chaudière et qui presse sur le mercure pour s'échapper *dans l'atmosphère*, à toute température au-dessus de 212 degrés Fahr., 100 degrés thermomètre centigrade. Lorsque la vapeur n'a pas atteint cette température, c'est au contraire l'air extérieur qui refoule le mercure comme dans le tube du condenseur. Ce manomètre est représenté fig. XXIV, pl. 2. Le tube en fer ou en verre *a b* est attaché sur une petite planche de cuivre qui porte

des divisions en pouces ou centimètres. Lorsque les pressions intérieures et extérieures sont égales, le mercure ne s'élève pas plus dans une branche que dans l'autre; si la pression intérieure surpasse celle de l'atmosphère, le mercure montera dans la branche *d b*. Chaque pouce dont il s'élèvera à partir du point *d* indiquera un excès de pression d'une demi-livre dans la chaudière sur la pression atmosphérique; si le mercure s'élevait de 28 pouces, ce serait un signe que la vapeur intérieure a une tension égale à celle de deux atmosphères.

Quelquefois, comme dans la fig. XXIV, on place sur le mercure une baguette mince qui flotte perpendiculairement dans le tube et sert par son élévation à indiquer sur l'échelle *E* la pression intérieure. Lorsque l'on ne se sert pas de cette baguette, la planche descend jusqu'en *d*. On a depuis fait a ces manomètres des modifications que nous donnerons plus loin.

L'on imagina dès lors différents moyens pour obtenir les changements de communication de la chaudière au cylindre et du cylindre au condenseur. Le plus simple de ces moyens est représenté pl. II, fig. XXV : c'est ce qu'on appelle robinet à quatre fins. Soit la partie ombrée *I* la partie pleine du robinet qui est mû par son manche *m*; dans la position que donne la figure, la vapeur arrive de la chaudière *C* et se rend dans le haut du cylindre en *e*; en même temps la vapeur s'échappe de dessous le pis-

ton, et passe dans le tuyau *h*, qui conduit au condenseur. Si le robinet quitte cette position pour prendre celle indiquée par les lignes ponctuées, la vapeur venant de *C* cessera d'arriver dans le haut du cylindre et pénètrera par *f* dans le bas ; au contraire, la communication établie entre le bas du cylindre et le condenseur en *h* sera fermée, et il s'en établira une entre le haut du cyindre *e* et ce même condenseur.

Ce robinet, comme on voit, est très propre à produire le double effet nécessaire dans les machines de M. Watt. Il a été employé dans la machine de Gensanne, représentée fig. XVI, et dans celle de Leupold, fig. XV.

Ce robinet n'a pas été adopté pour les machines de grandes dimensions : le frottement était, dit-on, trop considérable attendu le volume, et la perte de force employée à le faire mouvoir trop grande. On lui a substitué un système de soupape s'ouvrant ou se fermant aux instants convenables.

La disposition intérieure de ce système est représentée par la fig. XXVI. *A* est le tuyau qui amène la vapeur de la chaudière ; *p p'*, *q q'*, deux boîtes divisées chacune en trois compartiments ; *B*, tuyau qui établit la communication entre les deux compartiments supérieurs des boîtes *p p'*, *q q'* ; *K*, tuyau qui fait le même office entre le condenseur et les deux compartiments inférieurs de ces mêmes boîtes. Chaque boîte renferme deux soupapes s'ouvrant de bas en

haut ; ces soupapes *e*, *f*, *g*, *h*, ferment le passage entre les compartiments supérieurs et inférieurs et ceux du milieu ; dans chacun de ces compartiments intermédiaires *a*, *b* existe une communication latérale toujours ouverte avec le cylindre, l'une au-dessus, l'autre au-dessous du piston. La vapeur arrive par *A* dans le compartiment supérieur de la boîte *p p'*, et passe ensuite par le tuyau *b* dans le même compartiment de *q q'*. Soit alors la soupape *e* ouverte et la soupape *g* fermée : la vapeur passera par *e* dans le compartiment *A*, et de là sur le piston, qu'elle chassera jusqu'au fond du cylindre ; alors la soupape *e* se fermera ; la vapeur ne pourra plus arriver sur la tête du piston, et celle qui s'y trouvait pourra s'écouler par suite de l'ouverture de la soupape *f* dans le tuyau *K*, et de là dans le condenseur ; en même temps la soupape *g* en s'ouvrant permettra à la vapeur d'arriver par *b* sous le piston et de la faire remonter. Quand *g* se fermera, *h* s'ouvrira et laissera la vapeur du bas du cylindre s'échapper par le tuyau *K* dans le condenseur, pendant que la vapeur arrivera de nouveau par *e* et *a* dans la partie supérieure du cylindre.

Ce mode de communication est d'autant plus avantageux que, le jeu de chaque soupape étant indépendant de celui des autres, la vapeur peut être arrêtée, lorsque le piston est à moitié de sa course, afin de l'économiser suivant le système de M. Watt. Ce mécanisme, par suite de la légèreté des soupa-

pes, exige d'ailleurs une faible dépense de force pour être mis en mouvement.

L'appareil dont la fig. XXVII donne une coupe est connu sous le nom de soupape à tiroir : c'est un de ceux qui ont été proposés pour remplacer les soupapes simples. Il se compose d'une boîte carrée *b b b b*, percée de quatre ouvertures : l'une *A* reçoit le tuyau qui amène la vapeur de la chaudière; la seconde *g* établit la communication avec le sommet du cylindre; la troisième *h* avec le bas du même cylindre; la quatrième donne entrée à un tuyau *I I* aboutissant au condenseur par son autre bout. La boîte *b b b b* contient une soupape *c c* coudée à deux endroits, tenant toute la largeur de *b b* et pouvant glisser de haut en bas et de bas en haut au moyen de la tige *d*, qui traverse à frottement la paroi supérieure de *b b*. Lorsque la soupape à tiroir *c c* est dans la position que représente la figure, la vapeur arrivant de *A* pénètre par *g* dans le cylindre au-dessus du piston; en même temps la communication est établie entre le bas du cylindre et le condenseur. Si au contraire la soupape remonte et occupe la place indiquée par la ligne ponctuée, la vapeur qui arrive de la chaudière peut se précipiter sous le piston et le faire remonter, tandis que celle qui se trouve sur sa tête peut s'écouler dans le condenseur. Ce mécanisme est dû à M. Murrey de Leeds.

Un autre appareil de l'invention de Watt est

représenté fig. XXVIII. Il consiste en deux pistons *a a' b, b'*, mus par la même tige *e* dans deux boîtes carrées qu'ils remplissent hermétiquement. Ces boîtes sont percées de plusieurs ouvertures. Deux de ces ouvertures *h* et *g* établissent la communication avec le haut et le bas du cylindre. Une troisième *I* reçoit le conduit de la vapeur venant de la chaudière. Deux autres ouvertures latérales *o, p,* donnent issue dans un tuyau parallèle qui fait communiquer les deux boîtes entre elles. Enfin chaque boîte communique par une ouverture *N N* avec un tuyau *K*, se rendant dans le condenseur. Lorsque la surface inférieure du piston *a a'* est au-dessus de l'ouverture *h*, la vapeur arrivant par *I* passe par *h* sur la tête du grand piston et par l'ouverture *o* dans le conduit parallèle; le piston *b b*, se trouvant alors au-dessus de *g*, ferme l'issue *p* par laquelle la vapeur pourrait arriver du conduit latéral, et permet à la vapeur qui se trouve sous le grand piston de s'écouler par *g* et *N* dans le tuyau *K*, qui mène au condenseur. Lorsque la tige *e*, en baissant, ramène les surfaces supérieures des deux pistons l'une au-dessous de *H*, l'autre au-dessous de *G*, la vapeur de la chaudière ne peut plus pénétrer dans le haut du grand cylindre; mais elle passe par *o* dans le canal latéral, rentre par *p* dans la boîte inférieure, et de là arrive par *g* sous le grand piston. La vapeur qui est sur la tête de celui-ci s'échappe par *h* et *N* dans le tuyau *K*, tandis que toute

communication est fermée par *b b'* entre ce tuyau et le bas du cylindre.

On a fait à cet appareil des modifications trop peu importantes pour que nous entrions ici dans le détail de ces légers changements : l'essentiel était d'indiquer le principe d'après lequel sont construites les soupapes. Il serait beaucoup trop long de rapporter tous les perfectionnements que l'on a pu apporter dans leur exécution.

Le procédé que l'on employait pour donner le mouvement à un robinet à quatre fins était excessivement simple. A une tige perpendiculaire attachée au balancier sont fixés deux clous ou chevilles placés à une distance telle que la cheville *o*, lorsque le balancier descend, fait passer le manche *m* du robinet dans la position *m'*; lorsque la tige remonte, la cheville *p* ramène le manche et le robinet à sa première position. L'on reconnaîtra facilement, à la seule inspection de la fig. XXVI, le mécanisme qui fait mouvoir les soupapes ordinaires. Quant à celles à tiroir ou de l'invention de Watt, elles sont élevées ou abaissées par une tige attachée au balancier. Nous reviendrons plus tard sur cette partie.

« La soupape du piston de la pompe s'étant un
« jour rompue, et la machine se trouvant tout à
« coup privée de la résistance que lui faisait éprou-
« ver le poids de l'eau que l'on élevait dans le corps
« de pompe, le piston descendit rapidement, et à
« deux ou trois reprises fit frapper si violemment

« le balancier sur les poutrellès ou tiges de bois, que « l'une d'elle en fut brisée. Enfin le piston arrivant « jusqu'au fond du cylindre, qu'il heurtait, le « choc causé par le poids du balancier, augmenté « de toute la vitesse qui lui était imprimée, fut tel « qu'il fit plier la tige du grand piston. Pour pré- « venir de semblables accidents, on ajouta un petit « tuyau à vapeur, qui s'adaptait le long du tuyau « vertical et communiquait au passage conduisant « au fond du cylindre. Ce tuyau est fermé par une « soupape; mais lorsque le piston descend assez bas « pour faire porter le balancier sur les ressorts, une « cheville fixée dans l'une des tiges frappe sur un « petit levier, qui, au moyen d'un fil de communi- « cation, ouvre la soupape; la vapeur arrive sous « le piston dans la partie inférieure du cylindre, « empêche ainsi le vide de se former et s'oppose à « la descente du piston (1). »

Le projet d'égaliser le mouvement du piston par un volant, projet formé par Fitz-Gérald, et dont M. Watt fait mention, en 1769, dans une de ses lettres au docteur Small ci-devant rapportée, paraît avoir été mis à exécution d'abord par M. Wasbrough. Ce fabricant, après avoir combiné le volant avec la manivelle, en fit l'application à ses machines de Bristol, à celle de M. Taylor à Sout-

(1) M. Farey, dans l'Encyclopédie de Rees, art. *Steam engine.*

hampton, et à quelques moulins à farine (1).

Dans l'exposé qu'il présenta à la chambre des communes, en 1774, M. Watt indiquait les moyens de faire agir la vapeur sur les deux côtés du piston. Cette idée, en 1779, fut mise en avant comme neuve par un docteur Falck. Ce docteur publia même une brochure dans laquelle il s'étendait longuement sur les avantages que présentait ce genre de machine, disant qu'elle était en état de faire le double d'ouvrage de celui que font les machines ordinaires à simple effet de la même grandeur. Mais il ne paraît pas qu'à l'appui de son assertion il ait produit aucun modèle.

Il n'y avait de nouveau dans la proposition du docteur que les moyens employés pour opérer cette double action. Il proposait de se servir de *deux cylindres* munis de pistons, et communiquant l'un et l'autre avec la même chaudière. La vapeur était introduite sous les deux pistons, et le vide se produisait par la condensation, de la même manière que dans les machines atmosphériques. Il y avait seulement cette différence, que, pendant que la vapeur était admise dans l'un des cylindres, elle était empêchée de pénétrer dans l'autre par le régulateur. Les tiges des pistons, au moyen d'une

(1) « Dans le plan que présenta M. Watt, en 1772, à la « chambre des communes, le volant est placé sur l'axe de « la roue soleil. » (HORNBLOWER.)

roue fixée sur un arbre, étaient entretenues dans un mouvement ascendant et descendant continuel, de la même manière que les tiges de piston d'une pompe à air ordinaire. Ils faisaient ainsi mouvoir un axe commun portant une autre roue. Cette roue faisait manœuvrer les tiges de pompe, dans le même sens alternatif que les tiges des pistons, et tenait constamment en action les pistons des pompes. « Nous avons vu, dit Farey dans l'Encyclopé-
« die de Rees, à l'article *Steam engine*, l'applica-
« tion de cette disposition à la machine atmosphé-
« rique et à celle à simple effet de M. Watt; et sa
« machine à double effet nous a semblé bien pré-
« férable. »

Ce fut à peu près vers cette époque que l'on introduisit en France la machine à condensation de M. Watt. En 1779, M. Perrier, qui était associé avec son frère pour la construction des machines à Paris, fut chargé, par une compagnie alors récemment établie pour fournir de l'eau à cette capitale, de se rendre en Angleterre et de s'y procurer une machine à vapeur construite sur les meilleurs principes. Celles qui se faisaient en France à cette époque étaient aussi défectueuses sous le rapport de leur disposition que par la manière dont elles étaient exécutées. M. Perrier acheta de Bolton et Watt une machine où se trouvaient combinés tous leurs perfectionnements, et, avec la sanction du gouvernement anglais, il la fit transporter en

France, où il l'établit à Chaillot près Paris. Un ingénieur français, M. de Prony, dans un ouvrage très complet, qu'il publia sur la machine à vapeur (1), donne la description de celle apportée par M. Perrier; il entre avec une exactitude extrême dans le détail de toutes les parties dont elle se compose et des avantages qu'on en peut retirer sous le rapport de l'économie.

(1) « L'ouvrage de Prony, dit Farey dans l'*Encyclopédie* « *de Rees*, n'est guère autre chose que la description des « planches. Les machines qu'il a données ne sont assuré- « ment pas les meilleures ni les plus complètes de celles qu'a « construites M. Watt. Elles furent *toutes construites en* « *France par M. Perrier, de Paris*, qui, en 1780, y établit « deux machines, une grande à Chaillot, pour pomper l'eau « destinée à alimenter la ville, et une autre de moindre « dimension au Gros-Caillou, sur la rive gauche de la ri- « vière. Ces machines sont encore (1817) en pleine acti- « vité; je les ai visitées en 1814. Elles sont construites sur « le plan des premières machines de M. Watt; mais, par « suite de la négligence avec laquelle on a exécuté quelques « petits détails, elles ne produisent pas tout l'effet qu'on « pouvait en attendre. M. Perrier avait visité l'Angleterre « dans le dessein d'y recueillir toutes les instructions né- « cessaires pour faciliter leur construction. » Les Français, dit Playfair, se donnent beaucoup de peine pour tenir secrètes l'origine et la patrie de la machine de Chaillot. Ils ont même réussi à les cacher à M. Farey.

M. Watt était un homme d'une humeur trop pacifique pour vouloir relever ce qu'il y a d'inexacte dans M. de Prony; tellement qu'en 1810 ou 1811, quand on lui apprit, à Londres, l'injustice qui venait de lui être faite, il répon-

MACHINE DE HORNBLOWER.

La machine inventée par M. Hornblower ne présente rien de nouveau ni dans son principe, ni même dans sa disposition; elle n'est qu'une simple combinaison de la machine expansive de Watt et des deux cylindres du docteur Falck. La vapeur, après avoir été admise dans le premier

dit « qu'il le savait; mais qu'il avait vu M. de Prony, « qu'ils avaient causé de cette affaire, et que celui-ci était « entré avec lui dans des explications qui l'excusaient ». En général M. Watt ne paraissait pas désirer qu'on lui parlât de cette circonstance. (*Mémoires de Playfair.*)

L'auteur anglais réclame avec beaucoup de vivacité contre ce qu'il appelle la partialité de M. de Prony. Cet ingénieur, selon lui, aurait dans son ouvrage fait honneur à M. Perrier de perfectionnements qui ne lui appartiennent en aucune façon, et qui sont dus à M. Watt. Il rapporte à ce sujet l'anecdote suivante d'après un autre auteur anglais, anecdote dont nous sommes loin de garantir l'authenticité. Si nous l'avons copiée ici, c'est parce que, l'auteur anglais que nous traduisons s'étant attaché à discuter les dates des inventions et la part qui est due à chacun des prétendants, l'on aurait droit de nous accuser d'une partialité nationale trop puérile si nous supprimions les faits qu'il cite à l'appui de son opinion. Nous nous sommes contentés de ne pas répéter les expressions un peu aigres de son mécontentement contre des hommes aussi recommandables que MM. de Prony et Perrier; l'on a vu d'ailleurs, par la note extraite de l'*Encyclopédie de Rees*, par Farey, que les auteurs anglais sont loin d'être d'accord sur l'origine de la machine de Chaillot. [*Note de l'Ed.*]

cylindre et y avoir déterminé l'élévation ou l'abaissement du piston, passait pour faire les mêmes fonctions dans un second cylindre de beaucoup plus grande dimension que le premier, et par sa force expansive agissait sur le piston. La fig. XXIX donnera une idée générale de cette disposition. Nous avons omis d'y indiquer toutes les parties accessoires peu importantes, qui, étant les mêmes que dans les machines ordinaires, n'auraient fait que mettre de la confusion dans la figure; de plus, pour rendre celle-ci plus simple et l'explication plus facile, nous avons cru pouvoir nous permettre quelques légers changements dans l'arrangement des tuyaux, que Hornblower avait disposés d'une manière plus compliquée. *A* est le petit cylindre avec son piston *a* attaché par une tige au balancier; ce cylindre communique à la chaudière par le tuyau *c*, garni d'un robinet *K*. *B* est le grand cylindre, *y* son piston. Deux tuyaux à robinet *Y*, *X*, établissent une communication entre le fond et le sommet de chaque cylindre. *E* est un tuyau muni d'un robinet qui ouvre une communication entre le fond du petit cylindre *A* et le sommet du grand *B*. *F* est un tuyau avec son robinet qui part du fond du grand cylindre et aboutit au condenseur *G*, près duquel est une pompe *H*; tous deux sont placés dans une bâche remplie d'eau froide comme à l'ordinaire. Cette partie de la machine diffère très peu de celle qu'on emploie dans les machines

de M. Watt. La vapeur arrive de la chaudière par le tuyau *c*, dont le passage peut être fermé par le robinet *K*. Supposons maintenant qu'il soit ouvert : la vapeur, trouvant tous les robinets *E*, *X*, *Y*, ouverts, remplira les deux cylindres. Qu'on ferme maintenant *X* et *Y*, en laissant *E* et *K* dans leur première position : la vapeur ne pourra plus passer du haut d'un cylindre à sa partie inférieure. Si maintenant l'on tourne le robinet *F*, on ouvrira une communication entre le dessous du piston *y* et le condenseur, de manière à faire le vide en *B*. La vapeur exerçant sa pression sur la face supérieure du piston *a*, et la communication étant établie entre la partie du cylindre *A* au-dessous du piston et le haut du cylindre *B*, la vapeur qui remplit le cylindre *A* se dilatera, arrivera par le tuyau *E* au-dessus de *y*, et, agissant en vertu de sa force d'expansion, fera descendre le piston *y* en *B*. La capacité que contenait la vapeur en *A* s'augmentant de toute la partie du cylindre *B* qui est au-dessus du piston *y*, à mesure que celui-ci descend, la vapeur se dilatera à proportion, et par suite sa tension et la résistance qu'elle oppose à la descente du piston *a* diminuera d'autant. Ce piston, qui est en outre poussé de haut en bas par la pression de la vapeur arrivant librement de la chaudière, commencera à s'abaisser, et les deux pistons descendront en même temps, en entraînant avec eux le balancier. Lorsqu'ils sont arrivés au bas de

leur course, le robinet *F* ferme la communication avec le condenseur; le robinet *E*, entre les extrémités supérieure et inférieure des deux cylindres; et le robinet *K* ne laisse plus arriver la vapeur de la chaudière; les robinets en *Y* et *X* s'ouvrent en même temps, et permettent à la vapeur de passer de la partie supérieure de chaque cylindre au-dessous de chaque piston; ceux-ci se trouvent alors également pressés sur leurs deux faces, et le contre-poids placé à l'autre bout du balancier fait remonter les pistons au sommet de leurs cylindres respectifs; lorsqu'ils sont en haut de leurs courses, le cylindre *B* est rempli d'une vapeur très dilatée, destinée à s'échapper dans le condenseur; le cylindre *a* est plein d'une vapeur plus dense. On ferme alors *X* et *Y*; *E*, *F* et *K* sont ouverts, et l'opération recommence de nouveau.

Le mode d'introduction de la vapeur sur les deux faces des pistons, de manière à permettre l'action du contre-poids; la fermeture des cylindres par en haut, pour empêcher l'action de l'air; l'emploi du condenseur et des pompes à air qui en dependent, sont tous empruntés aux machines de M. Watt. Il serait superflu d'entrer dans de plus grands détails sur la construction de l'appareil en question; l'usage et l'expérience ont prouvé qu'elle ne pouvait soutenir le parallèle avec les machines à condensation de forme ordinaire. En somme, l'appareil décrit par Hornblower est sous tous les

rapports le même que celui de M. Watt (1); et ce doit être un sujet continuel de regret, qu'un homme doué d'autant de génie pour la mécanique ait employé la plus grande partie de sa vie, et dérangé sa fortune, par une suite non interrompue de tentatives peu honorables pour copier les inventions de M. Watt, sans se rencontrer avec les termes de son brevet.

M. Watt, qui avait antérieurement construit des machines sur le principe de la double pression, se voyant exposé à des contrefaçons de toute es-

(1) Hornblower a construit plusieurs machines sur ce plan, avec diverses modifications imaginées pour éluder le brevet obtenu par M. Watt pour l'invention du condenseur et de la pompe à air; mais la pratique a fait connaître que la machine originale n'avait rien gagné à ces changements. Les propriétaires de ces nouvelles machines, plutôt que de courir la chance d'un jugement par jury, se soumirent à payer à Bolton et Watt la somme que ces messieurs exigeaient ordinairement lorsqu'ils accordaient la permission d'employer leurs machines. On n'a pas besoin de dire que les instances si mal fondées que fit M. Hornblower auprès du parlement, en 1792, pour obtenir qu'on étendît le terme de son brevet, furent rejetées comme elles le méritaient; et depuis l'expiration de sa patente, aucune machine de son invention n'a été construite. Quoi qu'il en soit, les soupapes introduites par lui étaient fort ingénieuses et d'un grand effet, et le procédé qu'il imagina pour relever le balancier est une grande preuve de son talent comme mécanicien.

pèce, inséra une description de son appareil dans le brevet qu'il obtint en mars 1782. Il décrivit aussi une machine *composée*, c'est-à-dire un mode d'appareil pour unir les cylindres et les condenseurs de deux ou d'un plus grand nombre de machines séparées, dans lequel la vapeur, après avoir *agi* sur le piston de la première machine, agissait en vertu de sa force d'expansion sur le piston de la seconde : il résultait de là pour celui-ci un surcroît de force, qu'on pouvait employer pour le faire agir conjointement ou alternativement avec le piston du premier cylindre. Il ne mit jamais à exécution la machine à mouvement circulaire alternatif, et la machine à mouvement circulaire simple ou rotative (1), qu'il a également décrite dans sa patente.

Le mécanisme pour transmettre la double im-

(1) « Un de ses premiers essais était extrêmement ingé-
« nieux. Il consistait dans un tambour tournant dans un au-
« tre, de manière à ne pas laisser de passage à l'air, avec
« des cavités tellement réparties, qu'il y avait une pression
« forte et constante agissant dans une seule direction ; mais
« aucune des matières dont on se sert ordinairement pour
« la garniture n'était propre à exclure l'air extérieur sans
« gêner la liberté du mouvement. Il remédia à cet incon-
« vénient en plongeant son tambour dans du mercure, ou
« dans un amalgame qui restait fluide à la chaleur de
« l'eau bouillante. Mais l'action continuelle de la chaleur
« et de la vapeur, jointe à celle du frottement, oxyda bien-

pulsion dans ses nouveaux appareils, après avoir été quelques années en usage, finit par être abandonné pour des procédés sujets à moins d'inconvénients.

L'application que l'on fit de la machine à imprimer le mouvement aux meules d'un moulin donna naissance à une autre invention. Cette innovation est rapportée dans le brevet de 1782 : avant cette époque, la double impulsion était communiquée au balancier par le moyen d'un secteur placé à l'extrémité de la tige de pompe, engrenant avec un autre secteur placé à l'extrémité du balancier. Mais le mouvement était rude et saccadé, et surtout très bruyant; d'ailleurs les dents et les secteurs étaient sujets à s'user promptement. M. Watt pensa que, si l'on imaginait un mécanisme se mouvant sur des centres qui maintiendraient la tige des

« tôt le métal fluide, et le mit hors d'état de servir. Il es« saya alors le moulin de Parent ou de Berker, dont il ren« ferma les bras dans un tambour de métal ou cylindre « creux plongé dans l'eau froide : la vapeur monta rapide« ment le long du tuyau, qui servait d'axe, et on espérait « qu'une grande réaction aurait lieu aux extrémités des « bras; mais l'effet fut presque nul. On répéta le même es« sai avec un tambour tenu à la température de l'eau bouil« lante; mais l'impulsion fut extrêmement faible, compa« rativement à la dépense de la vapeur employée à la pro« duire. » (FAREY, dans *l'Art du Cyclope de Ree. Machine à vapeur*, 1817.)

pistons perpendiculaire, soit en tirant, soit en poussant, on obtiendrait un mouvement plus doux et plus régulier. Ce problème fut résolu par l'invention de cette belle combinaison mécanique appelée le *mouvement parallèle*, ou *parallélogramme*. Cet appareil est représenté dans la fig. XX, et a été mis en usage pour la première fois dans les machines construites pour les moulins d'Albion, près Londres.

Le parallélogramme *Q Q' Q" T* tient au balancier par les points *Q T*, fixes par rapport au balancier; mais les côtés de ce parallélogramme peuvent changer d'inclinaison les uns par rapport aux autres, au moyen de ce que leurs extrémités sont assemblées avec des boulons sur lesquels elles peuvent tourner comme sur des axes.

Les axe en *Q* et en *T* sont dans un même plan, avec le centre ou axe *z* de rotation du balancier. De plus, les angles *Q'*, *Q"*, du parallélogramme sont toujours retenus à une distance constante d'un point fixe *w*, au moyen de la verge de métal *Q" w*, dont chaque extrémité peut également tourner sur un axe ou boulon.

Ceci bien conçu, si l'on suppose que le point ou l'angle *Q'* soit poussé ou tiré dans une direction verticale, l'effort se décomposera suivant *Q' Q* et *Q' Q"*; les points *Q*, *T*, décriront des arcs de cercle dont le point *z* sera le centre, et le point *Q"* décrira de son côté un arc de cercle dont *w* sera le

centre et w Q'' le rayon. Or les courbes décrites par les points Q'' et Q T sont dans des sens opposés ; et l'on concevra aisément, à la seule inspection de la figure, que, lorsque le mouvement du balancier indiqué par la courbe qu'il décrit c d tend à écarter les points Q', Q'', de la verticale dans un sens, l'effet de la rotation de Q'' autour de w est d'écarter Q' Q'' de la verticale dans un sens contraire. Ces deux effets peuvent se combiner de telle manière que la courbe décrite par les points Q', Q'', diffère si peu d'une ligne droite verticale que dans la pratique on peut la considérer comme telle.

Un mode plus simple de conserver le mouvement rectiligne du piston a été employé avec succès dans les machines peu considérables ; il est représenté fig. XXXVII. Une pièce A attachée par un bout à l'extrémité du balancier, et de l'autre à la tige du piston, porte deux rouleaux ou galets, un de chaque côté, qui se meuvent dans les lunettes D D, et conservent ainsi à la tige sa direction rectiligne.

Ce mécanisme a surtout été employé depuis dans les machines où l'on a supprimé le balancier, soit que le cylindre fût vertical ou horizontal. Dans ce cas une bielle fixée par un bout sur l'axe des galets met en communication le sommet de la tige du piston avec la manivelle du volant.

L'exposé de ce même brevet, accordé à Watt en 1782, contenait aussi la description de plusieurs procédés imaginés pour régulariser la descente

du piston. L'un deux consistait dans l'emploi de deux cylindres ouverts à chaque extrémité et munis de deux pistons suspendus aux extrémités opposées d'un balancier en équilibre sur un point d'appui; les cylindres communiquent par un canal à leur extrémité supérieure, et sont tous deux remplis d'eau. Quand les pistons sont en équilibre, et le balancier horizontal, le poids de l'eau exerce une pression égale sur chacun d'eux; mais lorsqu'une des deux extrémités s'abaisse, l'eau élevée par le piston opposé coule par le canal dans l'autre cylindre, et cette différence de pression, étant ajoutée aux résistances qu'éprouve le piston à vapeur dans ses mouvements d'ascension et de descente, forme une compensation suffisante pour régulariser ce mouvement, qui sans cela serait accéléré. Des leviers agissant inégalement l'un sur l'autre, des chaînes s'enroulant en spirale, à la manière d'une fusée, et un poids considérable attaché au balancier, ayant son centre de gravité beaucoup au-dessus de son centre de mouvement, tels sont les moyens proposés en outre pour régulariser l'ascension et la chute du piston. Ils sont tous ingénieux; mais à l'exception des cylindres à eau, ils n'ont été que peu ou point employés, et nous ne croyons pas qu'ils aient été essayés par M. Watt lui-même dans aucune de ses machines.

La première amélioration introduite ensuite par

M. Watt portait sur la construction du foyer. Cette invention a servi de type à la plupart des procédés proposés récemment par une foule de faiseurs de projets, pour consumer la fumée. Elle repose sur ce principe que l'air destiné à fournir un des aliments de la combustion est obligé de traverser la surface enflammée du brasier avant d'entrer en contact avec la chaudière ou de monter dans la cheminée. Toute la disposition de ce foyer est extrêmement avantageuse. Un procédé semblable pour faire arriver le combustible au moyen d'une espèce de trémie, de même que les deux ouvertures latérales qui donnent passage à l'air, ont été mis en usage, mais dans des proportions moindres, par les *alchimistes*. Dans leurs opérations, le fourneau s'appelait *athanor*. Glauber en employa une semblable, et en donne la description dans ses ouvrages. M. Watt proposa aussi d'employer deux foyers placés l'un au-dessus de l'autre. Sur la première grille était du charbon de bois, et la fumée de ce feu devait passer sur la surface du feu allumé sur l'autre grille avec du charbon de terre ou du coke (1), de manière que tous les gaz combustibles qui s'échappaient du feu placé sur la pre-

(1) Résidu du charbon de terre employé à la confection du gaz hydrogène destiné à l'éclairage, et dont on se sert maintenant comme combustible dans beaucoup de maisons de Paris. [*Note du traducteur.*]

mière grille étaient consumés par le charbon enflammé placé sur le second. Le procédé dont nous venons de parler pour consumer la fumée dans les fourneaux fut introduit en France par M. Watt, vers l'an 1790. « Nous aurions ignoré (disent MM. « Morvau et de Prony, dans leur rapport sur la « méthode employée à l'hôtel des monnaies pour « consumer la fumée de la machine) le procédé « qu'emploie M. Watt pour obtenir ce résultat, « s'il n'eût pas été suivi dans la construction des « fourneaux d'une machine à vapeur à Nantes. « Les différentes pièces de cette machine sont sor- « ties des ateliers de M. Watt, et elle fut établie à « Nantes en 1790, sous la direction de notre col- « lègue, qui avait discuté et arrangé les plans avec « M. Watt lui-même. »

APPLICATION DE LA MACHINE A VAPEUR A LA NAVIGATION.

La première application sur une plus grande échelle de la machine à vapeur, pour mettre les bateaux en mouvement, fut faite, vers cette époque, par un gentilhomme français (1). Le mar-

(1) Dans l'histoire de la navigation par le moyen de la vapeur, nous ne devons pas omettre le nom de M. J. A., Génevois, ecclésiastique dans le canton de Berne, qui publia à Genève, en 1759, un livre contenant ce qu'il appelait

quis de Joufroy (ou Geoffroi) fit, en 1781, quelques expériences en grand sur la Saône, à Lyon, avec un bateau qui, à ce qu'on rapporte,

découverte du *grand principe*. Ce principe consistait à concentrer la force obtenue par un moyen quelconque dans une série de ressorts qui pourraient s'appliquer ensuite à une foule d'usages différents, dans le temps et de la manière les plus convenables. Il proposait l'application de son *grand principe* à une manière de faire marcher un vaisseau au moyen de rames mises en jeu par des ressorts. Il proposait aussi d'employer une machine à vapeur atmosphérique pour tendre les ressorts qui devaient faire mouvoir les rames, et même pour donner le mouvement à *un chariot ailé*, lorsque le vent manquerait, et à *une machine ailée* destinée à marcher, quelle que fût la direction du vent, fût-il même tout-à-fait contraire. Quoi qu'il en soit, il paraît que son projet favori consistait à employer la force expansive de la poudre à canon pour tendre les ressorts de ses rames. Il se rendit en Angleterre en 1760, pour soumettre son livre et ses plans aux lords de l'amirauté, qui l'engagèrent à extraire et à leur présenter la partie de son ouvrage qui concernait la navigation. Il fit imprimer son mémoire avec une planche et des figures représentant la forme de ses rames, la manière de les employer, et son *cylindre à poudre*. Nous empruntons à son ouvrage l'anecdote suivante :

« Il est vrai qu'un honorable gentleman, l'un des mem-« bres de l'amirauté, me dit, lorsque je me présentai de-« vant eux, le 4 août 1760, qu'environ trente ans aupara-« vant, un Ecossais avait proposé de faire marcher un vais-« seau au moyen de la poudre à canon; mais que, les ex-« périences faites à ce sujet ayant prouvé que dix barrils « de poudre avaient fait à peine avancer le vaisseau de l'es-

avait cent quarante pieds de long (1). Nous ne connaissons pas les détails et l'arrangement du mécanisme de ce vaisseau, non plus que les circonstances qui ont été cause que l'on a abandonné le projet. Il paraîtrait que, peu de temps après cette expérience, M. Miller, de Dalwinston, près Édimbourg, eut la même idée de faire marcher un bateau par la vapeur. Ce gentilhomme, très instruit dans toutes les sciences, grand amateur de méca-

« pace de dix milles, l'invention avait été rejetée. — A « cela je répondis qu'il m'apprenait une chose *tout-à-fait* « nouvelle pour moi, que ce projet avait été justement re- « jeté, mais que le mien était d'une nature tout-à-fait dif- « férente. On m'a dit, depuis, que c'était sur la force de « rétrogradation d'un ou de plusieurs canons placés sur la « poupe que cet homme avait fondé l'espoir de faire avan- « cer le vaisseau. Cela me rappelle l'essai fait il y a plusieurs « années sur le Rhône par un gentilhomme célèbre, essai « qui consistait à faire couler l'eau d'un tube placé à l'ar- « rière par une ouverture dirigée vers la proue : ce n'était « qu'une plaisanterie. Quant au plan de l'Ecossais, il n'a « rien de commun avec le mien, si ce n'est l'idée d'em- « ployer la poudre à canon. » Pag. 20.

(1) *Journal des Débats*. PARTINGTON, *Notice historique sur la machine à vapeur*.

Il paraît que, dès l'année 1775, M. Perrier aurait construit un bateau qui devait être mis en mouvement par une machine à vapeur de la force d'un cheval. Ce bateau n'aurait pu vaincre le courant, et cette tentative n'aurait pas eu de suite. (MAREST, *Mémoires sur les bateaux à vapeur des Etats-Unis d'Amérique.*) [*Note de l'Ed.*]

nique, et d'un esprit d'invention remarquable, publia une description de ce qu'il appelait *un triple bateau*, dont il présenta des copies à différents souverains de l'Europe. Le bâtiment qu'il se proposait de faire marcher au moyen de la vapeur était un *double bateau* avec une *seule roue à aubes* dans le milieu (1). On l'essaya plusieurs fois sur le Forth et sur la Clyde, et il paraît que ces diverses expériences réussirent (2); et même, si l'on en croit quelques auteurs, ce bateau aurait, en 1789, fait un voyage sur mer. La date du premier essai n'est point indiquée; mais il eut probablement lieu après la publication du livre de M. Miller, en 1787, où il parle de son projet comme propre à atteindre le but proposé (3). Que M. Miller ait été *l'inventeur du bateau à vapeur* dans la stricte acception du mot, c'est, dit le docteur Brewster, ce que je n'oserais affirmer; mais je n'hésite point à dire que dans

(1) Brewster.

(2) Le docteur Brewster, dans son volume supplémentaire à la mécanique de Ferguson, représente ce bateau comme double et muni de roues au centre. Nous n'avons pu avoir l'ouvrage sous les yeux. M. Buchanan, dans son *Traité sur les bateaux à vapeur*, dit que l'expérience ne réussit pas au gré de M. Miller.

(3) « J'ai des raisons pour croire que la force de la machine « à vapeur peut s'appliquer à faire tourner des roues de ma« nière à leur imprimer un mouvement plus rapide, et par « conséquent à accélérer la marche du vaisseau. » (M. MILLER, passage cité par le docteur Brewster.)

mon opinion il a plus de droits à ce titre qu'aucun des individus dont on ait cité le nom jusqu'ici.

INTRODUCTION EN FRANCE DE LA MACHINE A VAPEUR A DOUBLE EFFET.

M. Bettancourt, dont le nom est bien connu parmi les mécaniciens, comme auteur de quelques expériences et de formules sur la force élastique de la vapeur, fut employé en 1787 et 1788 par la cour d'Espagne pour obtenir des éclaircissements et recueillir des modèles des machines qu'il pouvait être avantageux d'employer dans les mines de l'Amérique espagnole. Durant son séjour en Angleterre, il trouva l'occasion de visiter les moulins d'Albion, où M. Watt avait fait établir une de ses machines à double effet. Là M. Bettancourt observa que l'emploi des chaînes qui unissaient le balancier à la tige du piston avait été remplacé par l'introduction du mouvement parallèle ou parallèlogramme : d'où il conclut que le piston était également mis en jeu par la vapeur dans ses deux mouvements de descente et d'ascension; mais il n'eut pas la possibilité d'étudier le mécanisme intérieur de cet appareil, qu'on lui dit seulement être plus parfait qu'aucun de ceux qui avaient été construits jusque alors. A son retour à Paris, il construisit un modèle qui offrait à l'extérieur l'apparence de la machine de M. Watt; mais les soupapes d'admission, et la manière de faire communiquer le cylindre

et la chaudière, étaient de son invention. Ces parties sont extrêmement imparfaites. Une machine décrite au long par M. de Prony fut construite et placée par M. Perrier, d'après le modèle de Bettancourt, dans le voisinage de Paris (1). Ce n'est ni son mérite, ni la date de sa construction, qui lui donnent des droits à trouver sa place dans une histoire des machines à vapeur. Nous n'en parlerions pas si M. de Prony n'avait revendiqué pour de Bettancourt l'honneur d'être regardé comme le *second inventeur* du mécanisme de la machine à double effet.

(1) Cette machine fut établie à l'Ile-des-Cygnes. Nous rappellerons, d'ailleurs, que M. de Prony, dans son *Architecture hydraulique*, ne cherche en aucune manière à présenter M. de Bettancourt comme un second inventeur de la machine à double effet. Il dit seulement, ce qui est vrai et reconnu par l'auteur anglais, que l'on ne voulut pas permettre à cet ingénieur d'examiner le mécanisme de la machine qui faisait mouvoir les moulins d'Albion, qu'on lui cacha le principe encore peu connu d'après lequel était construite la machine à double effet, et que les seules observations qu'une visite rapide permirent à M. de Bettancourt de faire lui suffirent pour deviner les perfectionnemens apportés dans cet appareil et pour le mettre à même d'en construire un modèle qui n'en différait que dans quelques détails. Quant au système de soupapes d'admission inventé par M. de Bettancourt, le lecteur sera à même de juger, par la description que nous en donnons, s'il mérite le dédain avec lequel l'auteur anglais en parle.

La vapeur (fig. XXXVIII) arrive de la chaudière par le tuyau *b* dans un disque ou plateau creux *A*, ayant deux autres issues :

MACHINE DE COOK.

M. Cook présenta en 1787 à l'Académie royale d'Irlande la description d'une machine à rotation, qui est représentée dans la fig. XXX. A la circonférence d'une roue sont attachées huit soupapes ou clapets, au moyen de charnières faites de manière à ce que les clapets en s'ouvrant décrivent un arc un peu plus grand qu'un quart de circonférence. Durant la révolution de la roue, les soupapes qui sont

l'une *d* permet à la vapeur de passer par le tuyau *c* dans le cylindre au-dessus du piston, l'autre *d'* conduit la vapeur par le tuyau *c'* au-dessous du piston. Une seconde boîte à vapeur *a* de même forme, également percée de trois ouvertures, reçoit par les tuyaux *e e'* la vapeur qui s'échappe des deux extrémités du cylindre; la troisième issue *x* donne entrée à un tuyau qui aboutit au condenseur. Chaque boîte à vapeur porte à l'intérieur une portion de cercle *g h*, *g' h'*, de même rayon que celui du disque, et tournant autour d'un axe *o* placé au centre. Cette portion de cercle peut dans sa révolution fermer une des deux ouvertures *d d'*, *e e'*, placées sur la circonférence de chaque boîte.

L'on conçoit que, les portions de cercle étant dans la position indiquée par la figure, la vapeur arrivant en *A* ne peut passer au-dessus du piston, mais s'élance au contraire dans le bas du cylindre par le tuyau *c'*, tandis que la disposition de la soupape de la boîte *a* ne laisse pas sortir la vapeur qui agit en dessous du piston, mais permet à celle qui se trouve sur sa tête de s'écouler dans le condenseur.

à la partie inférieure de sa circonférence, restent suspendues dans une direction verticale, en vertu de leur propre gravité, et remplissent les fonctions des aubes attachées aux roues hydrauliques. *c c c* sont les soupapes ou clapets ; *b* est le tuyau par où s'introduit la vapeur de la chaudière, *a* un tuyau conduisant au condenseur ; *k k* est la caisse où la roue *h h* se trouve enfermée jusqu'à la hauteur de la ligne indiquée avec des points. Cette caisse doit être hermetiquement fermée, de manière à ne laisser aucune issue à la vapeur. La roue étant supposée dans la situation où la figure la représente, les soupapes, tenant toute la largeur de la caisse, empêchent qu'il y ait aucune communication entre la chaudière et le condenseur. La vapeur se précipite alors par l'ouverture *b*, et exerçant la pression sur *c c*, elle les pousse devant elle, dans son passage, jusqu'au condenseur, et produit un mouvement de rotation. La pompe du condenseur est mise en jeu par une manivelle fixée à l'axe, qui fait mouvoir une tige *d*, destinée à entretenir un vide constant dans cette moitié du vaisseau *k k* : par ce moyen, lorsque la tension de la vapeur est seulement égale à la pression atmosphérique, comme les soupapes ont six pouces carrés, la roue sera mise en mouvement par une force équivalente à un poids de 336 livres environ, agissant suivant une tangente à sa circonférence, sur laquelle il faudra retrancher celle qui est perdue pour frotte-

ment, si toutefois, comme M. Cook aurait dû l'ajouter, son plan était exécutable avec un mécanisme aussi imparfait. *g* est une pièce de bois qui ferme les soupapes lorsqu'elles passent devant elle, et les fait entrer ainsi fermées dans la boîte à vapeur (1).

MACHINE ROTATIVE DE SADLER.

C'est aussi vers la même époque, en 1790, que la première machine rotative à condenseur, employée comme premier moteur d'un métier à filer le coton, fut établie à Manchester.

Cette machine, pour laquelle M. Sadler obtint un brevet d'invention, paraît avoir beaucoup de ressemblance avec celle dont nous avons fait mention plus haut comme ayant été essayée par M. Watt. Nous ne chercherons pas ici à décider si M. Sadler s'est rencontré avec l'illustre Watt, ou s'il l'a copié. Les dessins que nous avons sous les yeux sont trop incomplets pour que l'on puisse aborder la description et l'examen des détails d'exécution de cette machine rotative; c'est tout au plus s'ils sont suffisants pour donner une idée générale de son mode d'action: nous nous bornerons donc à l'indiquer. Un cylindre creux, ouvert et recourbé à ses deux extrémités dans des directions opposées, reçoit

(1) *Transactions de l'Académie royale d'Irlande*, 1787.

par l'axe creux sur lequel il tourne la vapeur produite dans une chaudière. Près des extrémités aboutissent deux petits tuyaux à peu près parallèles au cylindre, qui reçoivent l'eau apportée par l'autre partie de l'axe creux. Le cylindre peut tourner dans une boîte exactement fermée. La vapeur introduite dans le cylindre le remplit; mais le bras qui est au-dessous de l'axe reçoit l'eau arrivant par le petit tuyau; la vapeur se condense dans cette partie du cylindre, et l'eau s'échappe par l'ouverture dans la boîte qui renferme le tout; elle passe à travers une soupape et s'écoule dans le condenseur. Le vide est formé momentanément dans un des bras du cylindre; l'autre est rempli de vapeur, qui tend à sortir par l'ouverture. Telle serait la cause du mouvement de rotation qui fait que chaque bras à son tour se trouve au-dessous de l'axe, reçoit l'eau froide et la laisse échapper avec la vapeur condensée.

MACHINE DE M. FRANÇOIS. (FIG. XXXI.)

M. François, professeur de philosophie à Lausane, ayant été consulté par quelques membres du gouvernement sur les moyens propres à opérer le desséchement d'une étendue considérable de terrain marécageux, situé entre les lacs de Neufchâtel, de Bienne et de Morat, quelques circonstances locales lui firent abandonner l'idée de parvenir

à ce résultat au moyen de moulins à vent, et il proposa à leur place une machine à vapeur sur le plan de celle de Savery.

La machine (voyez figure XXXI) est composée d'un conduit *s w*, dont l'extrémité inférieure plonge dans l'eau, tandis que la partie supérieure entre dans le récipient *a*; elle est fermée par une soupape s'ouvrant de bas en haut. De ce récipient sort un tuyau *n c*, qui monte jusqu'à la hauteur à laquelle on veut élever l'eau, et qui est muni d'un robinet ou d'une soupape en *b*. Un autre tuyau *t*, avec un robinet *f*, conduit la vapeur de la chaudière *k* dans le récipient *a*. *d* est un auget tournant sur un axe; à cet auget sont fixés deux leviers aux points *p* et *o*; *z* est un canal qui sert à l'écoulement de l'eau qui a été tirée du fossé ou excavation, et élevée au niveau désiré.

Cette machine n'offre de neuf et de remarquable que la simplicité du procédé par lequel elle se suffit à elle-même. Quand la vapeur, passant de la chaudière dans le récipient, force l'eau qu'il peut contenir à monter dans le tuyau *n*, et à se vider dans l'auget oscillant *d*, cet auget, étant rempli, tourne sur son axe en décrivant le quart de cercle indiqué par la ligne ponctuée, se décharge dans le canal *z*, et est ensuite ramené à sa position horizontale par le contre-poids *e*. Cependant l'auget *d*, en tournant, fait baisser le levier *o*, et lever le levier *p*; le levier *o*, agissant sur *h*, le pousse, et déter-

mine la fermeture du robinet *f*, tandis que le levier *p*, agissant sur *m*, ferme le robinet *b*. Le passage d'une nouvelle quantité de vapeur de la chaudière dans le réservoir se trouve ainsi intercepté, et l'eau qui est dans le conduit d'exhaustion ne peut plus revenir dans le réservoir. En même temps une soupape placée en *z* se trouve aussi levée, ce qui permet à une petite quantité d'eau froide de tomber en *a*, et de condenser la vapeur qui remplit ce vase. La pression de l'atmosphère force ensuite l'eau à monter dans le réservoir, et le contre-poids ramenant l'auget à bascule à sa première position, les robinets *f* et *b* sont ouverts. « La « vapeur sort de la chaudière, et l'eau est refou- « lée de nouveau : cette même opération peut se « répéter cinq ou six fois par minute. » (1)

MACHINE ROTATIVE DE KEMPEL.

La machine rotative de Kempel (2), décrite par Langsdorf, ne diffère en rien dans son principe de celle de Héro. La chaudière est surmontée d'un conduit vertical traversé par un robinet; à ce tuyau est attaché un tuyau horizontal qui se meut circu-

(1) *Mémoires de la Société philosophique de Lausanne*, 1791, et *Répertoire des arts*, premier livre, vol. 4, p. 203.

(2) Gundbius, dans Mussanik, ou *Manuel de mécanique*, Altenburg, 1794.

lairement autour du tuyau vertical. La vapeur de la chaudière est introduite à travers le robinet, parcourt la longueur des bras horizontaux, et s'échappe dans l'atmosphère par deux petites ouvertures pratiquées aux deux extrémités, mais à des points latéraux diamétralement opposés; sa réaction communique aux deux bras un mouvement de rotation continu. A chacune des extrémités du tuyau horizontal est attachée une pièce circulaire, qui fait les fonctions de volant. Le mouvement de rotation se communique à une autre machine par une chaîne ou une corde attachée à une tige verticale placée au point central du tuyau horizontal.

MACHINE DE CARTWRIGHT. (FIG. XXXII, PL. V, ET XXXIII, PL. IV.)

Nous avons décrit le premier mode de condensation comme ayant été obtenu au moyen d'une aspersion d'eau froide faite sur l'extérieur du cylindre. M. Watt essaya aussi d'obtenir ce résultat en plongeant le condenseur dans de l'eau froide: on a reconnu l'inefficacité de ces deux procédés. Le révérend M. Cartwright, en renouvelant le projet de condensation par contact, fit sentir les avantages d'une machine où l'on arriverait au but par ce moyen, qui, dans plusieurs cas, économiserait une grande partie de la consommation du

combustible. Dans les distilleries, par exemple, la vapeur alcoholique pourrait être introduite sous le piston, pour le lever et le faire baisser par son élasticité, et être condensée sans aucun mélange d'eau froide, de la même manière que dans le serpentin d'un alambic; ou bien, dans le cas où ce dernier résultat ne serait pas demandé, on pourrait remplir la chaudière d'alcohol; et en raison du peu d'élévation de la température nécessaire pour que ce fluide forme une vapeur dont l'élasticité soit égale à la pression de l'air atmospherique, M. Cartwright a calculé qu'on ferait sur le combustible une économie au moins de moitié. Les détails de la machine qu'il proposait pour remplir ces conditions étaient construits avec un rare talent, et l'appareil entier peut être considéré comme plus simple et d'un plus grand effet qu'aucune autre combinaison jusqu'ici proposée des parties de la machine à condensation.

La tige du piston *b*, qui fonctionne dans le cylindre *a*, traverse ce piston et se prolonge beaucoup au-dessous. A son extrémité cette tige supporte un second piston beaucoup plus petit et jouant dans le cylindre *c*, qui peut être considéré comme une continuation du cylindre à vapeur. Celui-ci communique par le tuyau *g* avec le condenseur placé dans l'eau froide, et formé de deux vaisseaux circulaires concentriques. La vapeur est admise dans l'espace *f*, qui sépare les deux enveloppes;

elle s'y trouve en couches fort minces, et est condensée par le contact des parois du vaisseau condenseur, qui sont froides. L'eau produite par la condensation tombe dans le conduit *e*. Du fond *i* du cylindre part un tuyau *m*, qui aboutit à une boîte *n*, où est une sphère flottante *o*, ouvrant et fermant la soupape *p*, qui donne accès à l'air extérieur ; à cette boîte est aussi attaché un tuyau *q*. Une soupape en *i*, ouvrant de bas en haut, établit la communication entre le tuyau *e* du condenseur et le fond du cylindre *c* ; une autre soupape en *n*, qui s'ouvre également de bas en haut, permet à l'eau de passer du tuyau *m* dans la boîte *n*. Le tuyau *s* conduit la vapeur de la chaudière dans le cylindre ; il peut être fermé par la chute de la soupape *r*. *k* est une soupape pratiquée dans le piston *b*. *x* est une boîte à vapeur de l'invention de M. Watt ; elle a été substituée à la boîte à étoupes, et a, comme elle, pour objet d'empêcher la vapeur de s'échapper le long de la tige du piston qui la traverse. Le fond de cette boîte est rempli d'huile. Un tuyau y amène la vapeur du tuyau d'admission. Cette vapeur, par sa tension, s'oppose à la sortie de celle qui se trouve sur la tête du piston. Cet appareil est surtout nécessaire dans les machines à haute pression.

Dans la figure, le piston *b* est représenté au moment où il est forcé à descendre par la tension de la vapeur qui arrive de la chaudière à travers

le conduit *s*. Le piston *d*, étant attaché à la même tige, descend également. Quand le piston *b* atteint le fond du cylindre *a*, la soupape *k*, dont la tige inférieure frappe contre le fond, s'élève et établit une communication entre le dessus du piston et le condenseur. Au même moment la soupape *r* est repoussée à sa place par la chute du croisillon sur sa tige, ce qui empêche l'introduction d'une nouvelle quantité de vapeur. Cette interruption permet au piston *b* d'être ramené, à travers un milieu non résistant, au haut du cylindre, par l'impulsion que lui donne le volant *z*, en vertu du mouvement acquis. Le piston *d* est aussi remonté jusqu'au haut du cylindre *c*, et la soupape *i* est soulevée par l'eau condensée et l'air qui se sont accumulés en *e* et dans le tuyau du condenseur *g*. Au moment où le le piston *a* atteint le sommet du cylindre, la soupape *k* se ferme, parce que sa tige vient frapper contre le couvercle du cylindre; et en même temps, le piston *b*, repoussant le bas de la tige de la soupape *r*, ouvre cette soupape; la communication se rétablit de nouveau entre la chaudière et le cylindre; le piston est repoussé comme auparavant au fond du cylindre. Par le mouvement de descente du piston *d*, l'air et l'eau qui se trouvaient au-dessous dans le cylindre *c*, ne pouvant plus retourner dans le cylindre condenseur par la soupape *i*, sont refoulés le long du tuyau *m* dans la boîte *n*, et l'eau est ramenée dans la chau-

dière par le tuyau *q*. L'air s'élève au-dessus de l'eau, et lorsque sa pression se trouve accrue par son accumulation, elle détermine l'abaissement du flotteur *o*, et par suite l'ouverture de la soupape *p*, par laquelle l'air peut s'échapper à l'extérieur.

La machine ainsi simplifiée semble parfaitement convenir comme premier moteur sur une échelle peu considérable; néanmoins, elle n'a jamais été jugée d'une manière favorable, bien qu'à vrai dire, les objections dirigées contre les vaisseaux de condensation, à l'époque où ils furent inventés, nous aient toujours paru plus spécieuses que solides. Outre le mérite de l'arrangement et de la simplification des parties qui composent l'appareil représenté fig. XXXII, nous signalerons une invention d'une importance immense pour toutes les machines, quelle que soit leur construction : je veux parler ici du piston métallique. M. Cartwright forma le sien de deux plaques, entre lesquelles étaient placées des pièces de métal détachées, au lieu de la garniture ordinaire; ces pièces étaient mises en jeu par un ressort qui poussait du centre à la circonférence, de manière que, bien que le pourtour du piston s'usât, il ne joignait pas moins exactement contre les parois du cylindre, sans laisser d'intervalle par lequel pût passer la vapeur. Ce piston est représenté fig. XXXVI, pl. 4. *a b c* sont des morceaux de cuivre formant le pourtour du piston; ils

sont pressés du centre à la circonférence par les coins *d e f*, poussés eux-mêmes par des ressorts. Lorsque *a b c* en s'usant laissent entre eux un espace vide, les coins *d e f* remplissent cet espace et frottent alors contre le cylindre. La manière de rattacher la tige du piston au volant et d'imprimer à celui-ci un mouvement de rotation est un bel exemple d'invention mécanique. La vue seule de la figure suffira pour faire comprendre ce mécanisme qui n'est plus employé maintenant.

Dans cette patente, M. Cartwright proposa aussi une modification de la machine à mouvement de rotation décrite par M. Watt en 1782. Cette machine est représentée fig. XXXVII. *u u* (pl. 4) est une boîte cylindrique ou caisse à vapeur dont les deux extrémités sont fermées par des plateaux circulaires que traverse l'arbre ou axe *D*. Cet arbre soutient au moyen des bras ou rayons *m m* une caisse intérieure cylindrique, pouvant tourner avec lui. A la surface extérieure de cette caisse sont fixées plusieurs cames *H H* ou saillies, arrondies d'un côté, plates de l'autre. Il ne doit pas y avoir moins de trois cames, et elles ne doivent pas être disposées de manière qu'il puisse s'en trouver deux vis-à-vis l'une de l'autre. A la paroi intérieure du cylindre *u u* sont attachées deux soupapes *c c'*, placées en deux points diamétralement opposés du cylindre. Ces soupapes peuvent tourner sur des pivots, et lorsque la partie arrondie d'une came presse sur leur face concave,

elles cèdent et se rangent dans des emboîtures en saillie *d d*, ménagées à cet effet. A côté de chaque soupape se trouve un tuyau *E E'*, par lequel arrive la vapeur, et un autre *F F'*, communiquant avec le condenseur. Dans la position indiquée par la figure, l'espace entre les deux boîtes *u u* se trouve divisé en cinq parties entre lesquelles toute communication est fermée soit par les cames, soit par les soupapes. La vapeur qui arrive par *E E* presse sur les cames *H, H' H"*; l'intervalle entre *H* et *H'* étant rempli de vapeur, l'action exercée en *H* se transmet à *H'*, où elle n'est pas contre-balancée, parce que, l'espace *H' C'* étant en communication avec le condenseur par le tuyau *F*, il y a vide en tout ou en partie entre la came *H'* et la soupape *C'*. La pression exercée sur *H"* n'éprouve aucune résistance par la même raison du vide existant de *H"* en *C*. Il y a donc un mouvement de rotation imprimé aux cames et à l'axe *D*. Aussitôt que *H'* a dépassé *F'*, la vapeur de *H* en *H'* s'écoule par le tuyau; *H'* presse contre la soupape *C'*, la force à se ranger dans l'espace *d*, et continue son mouvement; dès qu'elle a outrepassé *C'*, celle-ci se relève, et reprend sa position, poussée par la tension de la vapeur qui remplissait l'espace *d*. La vapeur arrivant par le tuyau *E'* afflue alors sur la face plate de *H'*, et continue à le pousser dans le même sens. Cette machine reçoit donc et peut transmettre un mouvement de rota-

tion continu, sans avoir besoin de l'emploi du volant pour le régulariser.

BATEAUX A VAPEUR.

M. W. Symington, qui fut employé au bateau à vapeur de M. Miller, construisit en 1801 un vaisseau qui, par la disposition et la construction de l'appareil à vapeur dont il était pourvu, annonçait un génie d'invention très remarquable. Il plaça le cylindre dans une position presque horizontale; le piston était maintenu par des galets glissant dans une lunette, et comme il n'avait pas de balancier, il communiquait le mouvement à une roue à aube au moyen d'une bielle et d'une manivelle attachée au piston. La roue à aube, comme dans le bateau de M. Miller, était placée au centre du bâtiment. Il avait attaché à l'avant de son bateau des espèces de crocs pour rompre la glace dans les canaux. Cet appareil ne faisait avancer le bâtiment que de deux milles et demi par heure, et il fut abandonné parce que, outre son peu de célérité, on avait à craindre que les tourbillons causés par le tournoiement des roues dans l'eau n'endommageassent le bordage. M. Buchanan ne peut assurer si ce bateau a jamais été essayé sur une rivière.

En 1790, il avait été fait en Amérique plusieurs tentatives inutiles d'appliquer la vapeur à la navigation par MM. Fitche et Rumsey. Quelques an-

nées après, M. Livingston obtint de l'état de New-York un brevet de vingt ans, à condition de présenter en 1799 un bateau mû par la vapeur, qui ferait quatre milles à l'heure. Il ne put donner aux batiments qu'il construisit la vitesse désirée, et son brevet n'avait plus que quelques années à durer lorsqu'il fut envoyé en France comme ambassadeur des États-Unis. Pendant qu'il résidait à Paris, le célèbre Fulton, attiré dans cette capitale par l'espoir d'être soutenu dans l'exécution de ses projets, fit à l'Ile-des-Cygnes plusieurs essais de navigation par vapeur, qui ne lui réussirent qu'imparfaitement. Renvoyé par le gouvernement français, auquel il avait vainement offert d'employer des bâtiments mus par la vapeur, pour opérer la descente alors projetée en Angleterre, il fut encouragé par M. Livingston à retourner aux États-Unis. Là il obtint la prolongation du brevet de M. Livingston, et fit venir d'Angleterre une machine de la force de vingt chevaux, construite dans les ateliers de Watt et Bolton; enfin, après beaucoup d'essais, le premier bateau à vapeur qui ait réellement navigué fut construit à New-York en 1807, et pourvu de la machine de Watt. La même année, il fit le voyage de New-York à Albany, et servit depuis de moyen de transport entre les deux villes. La distance est de cent vingt milles, que le bateau parcourait en trente-deux heures en remontant, et en trente heures en descendant.

Les premières machines employées sur les bateaux que l'on construisit, après celui-ci, en Amérique, étaient à basse pression et à double effet; l'eau échauffée dans le condenseur est en partie rejetée hors du bâtiment, en partie conduite dans la chaudière; la communication du mouvement et les autres détails n'ont rien d'extraordinaire, et varient d'ailleurs selon les idées du constructeur.

Par la suite, l'on se servit, pour faire marcher les bateaux, de machines à haute pression de la construction d'Olivier Evans, machines que nous décrirons plus loin.

Après les perfectionnements dus à M. Watt, l'amélioration la plus importante est celle qu'introduisit M. Mathew Murray, de Leeds, par l'invention d'un appareil attaché à la chaudière, et qui a en lui-même son principe d'action. En 1799, M. Murray attacha une plaque de fer, ou registre, destinée à fermer en partie la cheminée et à ralentir son tirage, à un petit piston manœuvrant dans un cylindre en communication avec la chaudière; ce piston montait ou descendait selon le plus ou moins de tension de la vapeur; la corde ou chaîne à laquelle il était suspendu passait sur deux poulies et allait aboutir au registre; le mouvement du piston faisait lever ou abaisser la plaque de fer. De cette manière on pouvait régulariser l'intensité du feu sous la chaudière. Lorsque la vapeur se produisait en trop grande abondance, l'abaissement

du registre diminuait le tirage, et par suite la violence du feu; le contraire avait lieu lorsque la tension de la vapeur n'était pas suffisante. Cette invention est d'un grand usage dans la pratique, et du petit nombre de celles dont l'emploi s'est maintenu jusqu'ici dans toutes les chaudières à vapeur bien construites.

M. Murray renouvela aussi avec de grands perfectionnements les anciennes soupapes à coulisse, comme nous l'avons vu plus haut, donna une disposition nouvelle à quelques autres parties, et perfectionna considérablement la pompe à air. Il introduisit encore plusieurs autres améliorations dans les détails des belles machines qu'il fit construire dans sa grande manufacture de Leeds. M. Murray, à ce que nous croyons, mit aussi à exécution l'idée de donner au piston une position horizontale dans les machines à condensation ordinaires.

Vers la même époque, M. W. Murdock construisit des soupapes hautes et basses qui étaient mises en mouvement par la même tige; cette tige était creuse, et elle remplissait en même temps, dans son appareil, les fonctions d'un tuyau de communication entre le haut et le bas du cylindre à vapeur; par cette idée ingénieuse il put retrancher à l'appareil une paire de soupapes. La même patente renfermait aussi la description d'une machine à mouvement de rotation, telle qu'elle est repré-

sentée dans la trente-cinquième figure. *a* et *b* sont deux roues dentées qui engrènent l'une avec l'autre, et tournent dans une boîte circulaire, contre les parois intérieures de laquelle leurs extrémités *d* frottent de manière à ne point laisser d'issue à la vapeur. A cet effet, ses dents sont garnies de chanvre graissé ou d'étoupe, comme on le voit dans notre figure. L'axe de l'une des roues, ou de toutes les deux, passe à travers la boîte, et on la ferme hermétiquement par les moyens ordinaires. La vapeur est introduite dans cette boîte à une extrémité par le tuyau ou canal *g*, et un vide se trouve formé par la communication du condenseur *H* avec un point de la boîte diamétralement opposé à *g*. La vapeur agit sur les dents des roues, et, les faisant tourner dans des directions contraires, produit un mouvement de rotation qui, par leurs axes, peut se communiquer à un mécanisme quelconque.

En 1801, un M. Bramah fit une amélioration importante au robinet à quatre issues qui avait été en usage dans les machines à basse pression; il le construisit de manière à ce qu'il pût tourner continuellement sur lui-même, au lieu de la révolution intermittente qu'il avait faite jusque alors. Ce perfectionnement était important sous deux rapports : la pièce s'usait moins vite, et son action devenait susceptible d'une plus grande précision.

M. John Nuncarrow a décrit en 1799 un perfectionnement apporté à la machine de Savery, qui

consistait à opérer la condensation de la vapeur dans un tuyau ou vaisseau séparé du corps de pompe. On concevra facilement et sans le secours d'une figure en quoi l'appareil modifié de Nuncarrow diffère des machines construites d'après le système de Savery que nous avons données jusqu'ici. Le condenseur est placé dans une bâche remplie d'eau froide, comme dans les machines à condensation; il est surmonté par un tuyau aboutissant au conduit qui amène la vapeur dans le récipient; le point de jonction se trouve entre le récipient et la soupape, qui permet ou empêche l'introduction de la vapeur; la communication s'établit entre les deux tuyaux au moyen d'une soupape. Le tuyau du condenseur reçoit à sa partie inférieure le bout d'un tuyau d'injection garni d'un robinet. Dans le condenseur plonge le bas d'un corps de pompe dont la tige est mue par la machine. Lorsque la soupape qui ferme le tuyau d'admission de la vapeur s'ouvre pour la laisser passer dans le récipient, la soupape qui établit la communication avec le tuyau du condenseur se ferme; la vapeur se précipite dans le récipient plein d'eau, et y agit comme à l'ordinaire en la refoulant par un tuyau de décharge. Alors la soupape d'admission se ferme, celle du tuyau du condenseur s'ouvre, la vapeur passe du récipient dans le condenseur, où elle est rapidement condensée par le jet d'eau froide que lance le tuyau d'injection; le vide se forme dans le

tuyau du condenseur et dans le récipient ; l'eau monte aussitôt du puits dans celui-ci : l'eau et l'air réunis dans le condenseur sont extraits par la pompe à air, et l'eau chaude reportée dans la chaudière.

(FIG. XXXIX.) VOITURES A VAPEUR DE VIVIAN ET TREVITHICK.

Le projet conçu par le docteur Robison en 1759, de faire marcher des voitures au moyen de la vapeur, fut exécuté en 1802 par MM. Vivian et Trevithick ; et en cherchant à mettre en pratique ce qui n'était encore qu'une idée spéculative, ils imaginèrent une machine à vapeur remarquable par son utilité et le talent qu'ils ont déployé dans sa conception. Le principe de faire mouvoir un piston par l'élasticité de la vapeur, ayant assez de force pour surmonter seule la résistance qu'oppose la pression de l'atmosphère, avait guidé Leupold dans la construction de la machine dont il nous a laissé la description ; mais dans son appareil l'action de la vapeur, comme nous l'avons vu plus haut, ne s'exerçait que sur un seul côté du piston. Dans la machine de Trevithick et de Vivian, le piston est non seulement élevé, mais aussi abaissé par la tension de la vapeur, et quoiqu'ils eussent pu choisir pour effectuer l'admission de ce fluide d'autres moyens, ils donnèrent la préférence au

robinet à quatre fins de Leupold. M. Watt avait conçu lui-même l'idée de pousser le piston dans les deux sens au moyen de la vapeur agissant contre la pression de l'atmosphère, et ce projet se retrouve exposé dans une de ses patentes; mais il est également certain qu'il ne le mit jamais à exécution. Ainsi, quoique les habiles ingénieurs de Cornouaille ne puissent pas réclamer le mérite de l'invention des machines à haute pression, cependant pour la simplicité élégante de leur machine, la facilité avec laquelle elle peut se transporter, et la sagacité qui a présidé à l'arrangement des parties, ils ont droit à toutes sortes d'éloges, et leur appareil peut être mis sur la même ligne que ceux de Savery, Newcomen et Watt, comme formant époque dans l'histoire de la mécanique.

L'objet immédiat de MM. Trevithick et Vivian était d'exécuter un appareil portatif, susceptible d'être appliqué aux voitures, et ils ont atteint ce but; mais leurs machines sont également propres à tous les usages auxquels celles de M. Watt sont employées aujourd'hui presque exclusivement; et avec les précautions les plus ordinaires, il est aussi facile de garantir contre toute espèce d'accidents les machines de Trevithick que celles qu'on a nommées par opposition *machines à basse pression*. Dans le fait, malgré la nouveauté de leur invention, le défaut d'expérience dans la manière de

s'en servir, qui résulte nécessairement de leur peu d'ancienneté, et l'effet des préjugés absurdes et généralement répandus contre leur sûreté, elles peuvent être maintenant considérées comme les seules rivales à redouter pour la machine à condensation (1).

L'expérience que l'on fit de l'application de cet appareil aux voitures fut couronnée d'un plein succès, et en 1804, une de ces machines locomotrices était employée pour le service d'une mine à Merthyr Tydvil, dans la partie méridionale du pays de Galles; elle faisait marcher sur une route en fer

(1) Le danger le plus réel auquel soient exposées les machines à haute pression résulte de ce qu'il y a fort souvent des inégalités de contraction et de dilatation dans les parois des chaudières en fonte, lorsqu'il tombe de l'eau froide sur leur surface au moment où elles sont en activité. Il peut en résulter une fissure qui, bien qu'elle ne soit ordinairement pas apparente dans le moment, ne permettrait pas à la chaudière de résister à une augmentation d'élasticité de la vapeur. La précaution de recouvrir la surface de la chaudière de quelque corps mauvais conducteur du calorique serait non seulement économique sous le rapport de la chaleur, que cette enveloppe empêcherait de se dissiper aussi facilement, mais utile et nécessaire sous le rapport de sa sûreté. Une expérience en petit nous a permis d'apprécier l'effet produit par l'effusion brusque d'une légère quantité d'eau froide à 40° Fahr. (environ 5° centig.) sur la paroi d'une petite chaudière contenant de la vapeur à environ 230° Fah., ou 110° centig.

autant de chariots qu'il en fallait pour transporter dix tonneaux et demi de fer, avec une vitesse de cinq milles et demi par heure, à une distance de neuf milles; cette machine ne consommait pendant tout son voyage que la quantité d'eau contenue dans la chaudière au moment du départ. Son cylindre avait huit pouces de diamètre, et son piston quatre pieds de course. La même machine employée pour puiser de l'eau faisait manœuvrer une pompe de dix-huit pouces et demi de diamètre, et de quatre pieds et demi de course; elle élevait l'eau à trente-huit pieds, et donnait dix-huit coups par minute; elle employait quatre-vingts livres poids de charbon par heure, et dans le même temps elle élevait 15,875,160 livres d'eau à la hauteur d'un pied, la pression étant de soixante-cinq livres par chaque pouce carré du piston.

Nous avons dit que la machine de Trevithick est la plus portative, celle qui occupe le moins de place; elle est aussi la plus simple dans ses opérations. La vapeur en sortant de la chaudière est introduite sous un piston jouant dans un cylindre, et détermine son ascension. Quand il est parvenu au terme de sa course, la communication entre la chaudière et le dessous du piston se trouve fermée, et la vapeur qui lui avait imprimé un mouvement ascensionnel s'échappe dans l'atmosphère; un passage s'ouvre entre la chaudière et le dessus du piston, qui est alors sollicité à descendre; lorsqu'il

est au bas du cylindre, la vapeur se perd à son tour dans l'atmosphère. La fig. XXXIX (pl. 5) est destinée à faire comprendre le mécanisme de l'appareil de Trevithick et de Vivian ; on doit en considérer les parties comme disposées de la manière la plus propre à en faire concevoir le jeu, plutôt que dans la situation où elles se trouvent ordinairement dans la pratique. *a* est le cylindre à vapeur; *b*, le piston, et *x*, sa tige. Le tuyau *d e* fait communiquer le sommet et le fond du cylindre. Le conduit *c* amène la vapeur de la chaudière dans ce tuyau, vis-à-vis le robinet à quatre fins. Dans la figure, la vapeur sortant du tuyau *c* traverse le robinet *k* et arrive au-dessus de *b*, tandis que celle qui était au-dessous du piston s'échappe par le passage que laisse le robinet *k* dans le tuyau *h*, et de là dans la cheminée. *k* est le robinet à quatre fins qui tourne sur son axe au moyen d'un levier mis en mouvement par l'ascension et la chute de la tige du piston ; *l* est la chaudière dans laquelle le cylindre se trouve placé ; elle contient en outre le foyer, comme cela a lieu dans quelques autres machines. Lorsque la vapeur formée dans la chaudière est à une température suffisante, le robinet est tourné dans la position que représente la figure : il est évident qu'une communication se trouve alors ouverte entre le dessus du piston et la chaudière, d'une part, et de l'autre, entre le dessous du piston et la cheminée ou l'atmosphère. La vapeur est susceptible

d'acquérir une tension beaucoup plus forte que celle qui est simplement nécessaire pour maintenir le piston en équilibre, ce qui suppose une pression équivalente à celle de quatorze livres et demie par chaque pouce carré; tandis qu'à la température à laquelle la vapeur est employée dans la machine, elle pourrait faire équilibre à quatre ou cinq fois ce poids. On peut donc ne tenir aucun compte de la pression de l'atmosphère, et le piston sur la tête duquel agit la vapeur avec une tension aussi grande se trouve en conséquence forcé de descendre dans le cylindre. Lorsqu'il arrive au fond, une tringle suspendue au balancier ou bras horizontal agit au moyen d'un bouton ou d'une cheville sur le levier du robinet, et fait tourner celui-ci, qui prend une autre position; par suite il s'établit une communication entre le dessous du piston et la chaudière, et entre le dessus et la cheminée. La pression la plus forte s'exerce alors au-dessous du piston, et le force à monter, tandis que la vapeur qui remplit la partie supérieure du cylindre s'échappe dans l'atmosphère, et ainsi de suite alternativement. La vapeur en sortant du cylindre passe dans le tuyau *h*, et de là dans la cheminée. Ce tuyau est renfermé dans un autre, qui contient l'eau destinée à alimenter la chaudière. Cette eau est amenée au moyen d'une pompe d'une force médiocre; passant dans ce tuyau, elle s'échauffe par le contact du tuyau *h*, toujours rempli de vapeur à une haute

température, et se trouve elle-même parvenue à un degré de chaleur déjà assez élevé lorsqu'elle pénètre dans la chaudière, ce qui économise une quantité égale de chaleur qui autrement serait perdue inutilement dans l'atmosphère.

Le mouvement alternatif peut être converti dans un mouvement de rotation au moyen d'une manivelle, et être régularisé par l'emploi d'un volant. On peut aussi régler l'admission de la vapeur au moyen d'un régulateur ou d'autres moyens ; mais comme on en a déjà parlé dans la description des machines précédentes, on les a supprimées ici. Le procédé employé pour donner plus de sûreté aux chaudières est semblable à celui qui est en usage dans les machines à condensation : une soupape de sûreté chargée d'un poids égal à la pression que l'appareil peut soutenir; si l'on aime mieux, une plaque de plomb, d'étain, ou d'un alliage métallique, fermant une ouverture pratiquée dans les parois de la chaudière, et qui se fond quand l'eau qu'elle renferme se trouve arrivée à une certaine température, ou lorsque le liquide est descendu au-dessous du niveau requis; enfin le tube à mercure ou manomètre d'une longueur proportionnée à la pression que l'on doit obtenir, sont autant de moyens qui, avec le soin et l'attention la plus ordinaire (1), sont plus que suffisants pour donner

(1) Comme une personne se plaignait un jour à M. Watt

une égale sûreté aux chaudières à haute et à basse pression. Nous ne pouvons, il est vrai, nous appuyer d'expériences précises pour comparer des machines destinées, par exemple, à élever la même quantité d'eau. Mais on peut regarder le travail ordinaire de la machine de Trevithick comme égal aux quatre cinquièmes de l'effet produit par les machines à condensation, avec la même quantité de charbon. En plaçant le cylindre dans la chaudière, on économise la dépense de la pièce appelée *jacket*, ou chemise, et on est sûr de maintenir le cylindre à la température de la vapeur. Le plus grand avantage de cette machine est de ne point exiger d'eau pour la condensation, et, par suite, de pouvoir se passer de toutes les parties nécessaires pour cette opération et pour l'extraction de l'air et de l'eau qui en étaient les résultats. Cet appareil plus simple peut être employé dans des lieux où l'on ne pourrait établir une machine à condensation, soit à défaut de la place nécessaire, soit à cause de la grande quantité d'eau qu'elle réclame pour fonctionner. La machine de M. Trevithick ne fut cependant pas adoptée géné-

du dérangement fréquent de sa machine à condensation, il lui répondit : « Il en est de la machine à vapeur comme du « cheval qu'elle est destinée à remplacer; elle n'exige qu'un « degré d'attention fort ordinaire, mais encore faut-il le « lui donner. »

ralement comme servant à faire marcher des voitures, jusqu'en 1811, où on lui fit subir, pour l'appliquer au même objet, des modifications que nous indiquerons plus loin.

Tous les bateaux à vapeur américains, à très peu d'exceptions près, sont mis en mouvement par des machines à haute pression, dans lesquelles le plus souvent la tension de la vapeur est double de celle prescrite par Trevithick. Malgré cette expérience, et grâce à l'absurdité d'un préjugé répandu en Angleterre, ce serait une spéculation bien hasardeuse que d'appliquer dans ce pays le système de haute pression à des bateaux à vapeur, en concurrence avec la machine à condensation ordinaire; et cependant les premiers appareils sont aussi sûrs, plus commodes, plus portatifs; ils offrent d'ailleurs le grand avantage de permettre de proportionner le pouvoir à la résistance, dans le cas où l'effet à produire, ou bien la charge, viendrait à varier.

MACHINE A HAUTE PRESSION D'OLIVIER EVANS.

Dès l'année 1786, un Américain nommé Olivier Evans fit, à la législature de la Pensylvanie, la demande d'une patente pour des voitures à vapeur dont les machines motrices auraient travaillé sous une pression de dix atmosphères. Son projet, regardé comme chimérique, n'eut pour le moment pas de suite. En 1811, Olivier Evans, qui était par-

venu à construire une machine suivant son principe, la fit servir à imprimer le mouvement à un moulin à farine. Depuis cette époque, il en a construit un grand nombre: elles sont principalement employées à bord des bâtiments.

Dans ces machines, la vapeur est employée à un très haut degré d'élasticité, à six, huit et même dix atmosphères; en outre, on profite de la force d'expansion ou de détente; la dilatation de la vapeur dans le cylindre va quelquefois jusqu'à six fois son volume primitif. L'introduction de cette vapeur au-dessus et au-dessous du piston s'opère au moyen d'un disque de fer tournant horizontalement sur lui-même dans une petite boîte de même métal. Cette soupape tournante est combinée de manière à ne laisser passer, à chacune de ses évolutions, que la quantité de vapeur nécessaire pour remplir environ le tiers du cylindre. La vapeur par sa détente chasse le piston jusqu'au bout de sa course. La vapeur qui a fait fonctionner le piston est évacuée dans l'atmosphère, ou bien la condensation s'opère à l'aide d'un serpentin plongé dans l'eau froide. L'eau qui en est alors le résultat est reportée encore très chaude dans la chaudière, où elle est introduite avec une pompe refoulante. Les chaudières sont de longs tubes de fer placés les uns à côté des autres sur un fourneau.

Cette machine, au premier coup d'œil, semble devoir être beaucoup plus dangereuse que celle de

Watt; cependant, nous devons faire observer que, suivant M. Marcstier, il serait à peu près notoire aux États-Unis que toutes les chaudières qui ont éclaté à bord des bâtiments mus par la vapeur appartenaient à des machines ordinaires, excepté celle du bateau la Constitution. Mais, dans la construction de cette dernière chaudière, l'artiste, pour essayer ses idées particulières, s'était écarté des principes posés et suivis par M. Evans. Ces faits, affirmés en 1818 par M. Evans, n'avaient été relevés par personne dans un pays où certes toute liberté est laissée à la discussion. M. Marestier rapporte en outre qu'en 1817, une fissure survenue à la chaudière du bateau l'OEtna n'avait fait naître aucun danger, et que peut-être le machiniste seul s'en serait aperçu, si la diminution de la tension de la vapeur n'eût mis dans la nécessité d'arrêter le bateau.

Les précautions employées par M. Evans sont principalement de donner à ses chaudières la force nécessaire pour résister à une tension dix fois plus forte que celle qu'elles doivent supporter : à cet effet, on ne donne guère aux cylindres que soixante à soixante-quinze centimètres de diamètre; on préfère en employer un plus grand nombre plutôt que de dépasser cette grandeur.

Cette machine est extrêmement simple et très économique; elle a moins de volume et pèse beaucoup moins qu'une machine de Watt de la même

puissance. Elle dépense la moitié moins de combustible, d'après les expériences publiques faites à Philadelphie.

MACHINE A HAUTE PRESSION D'ARTHUR WOOLFE.

La vapeur à une haute température a été employée d'une manière un peu différente par M. Arthur Woolfe, en 1804. Il s'était assuré, par des expériences, que la vapeur dont la tension est plus grande que celle de l'air est susceptible de se dilater d'autant de fois le volume qu'elle occupe que sa pression est supérieure en livres poids à celle de l'atmosphère, sans cesser néanmoins de pouvoir lui faire équilibre, pourvu toutefois que cette vapeur soit maintenue au même degré de température. Si, par exemple, un pied cube de vapeur était échauffé de manière à faire équilibre à trois livres par pouce carré de la soupape de sûreté, elle pourrait, en se dilatant, former un volume de trois pieds cubes de vapeur, et être encore égale à la pression atmosphérique : un pouce cube de vapeur agissant contre la soupape avec une force égale à la pression de quatre livres par pouce carré (ce qui suppose environ 220° $\frac{1}{2}$ de température, th. de Fahrenheit) remplirait un espace de quatre pieds cubes, et balancerait encore la colonne atmosphérique.

En continuant cette progression, la vapeur qui pèse contre la soupape de sûreté avec une force égale à	Ce qui suppose une température égale à			Prendrait en se dilatant, sans cesser d'avoir une pression égale à celle de l'atmosphère,	
	Fahr.	Réaum.	Centig.		
5 liv. par p. car.	227°$\frac{1}{2}$	86,44	108,05	5	fois le volume qu'elle occupait
6 —	230°$\frac{1}{4}$	88,11	110,14	6	
7 —	232°$\frac{3}{4}$	89,22	111,52	7	
8 —	235°$\frac{1}{4}$	90,33	112,91	8	
9 —	237°$\frac{1}{2}$	91,33	114,17	9	
10 —	239°$\frac{1}{2}$	92,32	115,40	10	
15 —	250°$\frac{1}{2}$	97,11	121,39	15	
20 —	259°$\frac{1}{2}$	101,11	126,39	20	
30 —	273°	107,11	133,89	30	
40 —	282°	111,11	138,89	40	

On voit que, d'après cette progression, l'on peut donner successivement à la vapeur, au moyen d'une légère augmentation de température, la propriété de se dilater indéfiniment. La seule limite

qu'on rencontre est celle que nécessite la fragilité des matériaux avec lesquels sont construits les vases destinés à renfermer la vapeur avant sa dilatation. On doit bien se garder de porter la force élastique de la vapeur jusqu'au dernier degré auquel les vases peuvent résister : la prudence ordonne de se tenir beaucoup au-dessous de ce point.

Guidé par ce fait, Woolfe proposa une machine semblable dans ses détails à la machine à condensation de M. Watt, mais munie d'un second cylindre, comme on l'a vu dans l'appareil du docteur Falck et de Hornblower. Ces cylindres devaient avoir des dimensions différentes; leurs proportions relatives étaient déterminées par la tension de la vapeur qui devait s'y introduire : si le premier cylindre, par exemple, devait contenir trois pieds cubes de vapeur avec une pression égale à celle de quatre livres par pouce carré, le second cylindre, s'il était muni d'un condenseur, devait pouvoir en contenir alors douze, ou avoir une capacité égale à quatre fois celle du premier, et ainsi de suite. La disposition des parties ne différait que peu de celle que nous avons décrite dans l'appareil de Hornblower; seulement la vapeur qu'il employait était portée à une température beaucoup plus élevée, et le condenseur de la machine de Woolfe communiquait alternativement avec le haut et le bas du grand cylindre. Quoi qu'il en soit, on a reconnu dans la pratique que la meilleure proportion à éta-

blir entre les cylindres est celle qui permet à la vapeur, selon l'échelle de M. Woolfe, de se dilater de six à neuf fois son volume primitif : au-delà de ce dernier nombre, les résultats sont regardés, au moins jusqu'à présent, comme un peu problématiques.

La chaudière employée par M. Woolfe est semblable dans son principe à celle que nous avons représentée en décrivant l'appareil de Blakey : l'eau est introduite dans plusieurs tuyaux liés entre eux et placés dans un fourneau construit à cet effet ; ils communiquent avec un vase cylindrique d'un diamètre plus considérable placé au-dessus d'eux dans le même fourneau, et destiné à recevoir la vapeur formée dans les tuyaux ou cylindres inférieurs ; un mur élevé au-dessous du grand cylindre, dans la direction de sa longueur, et embrassant tous les petits tubes, divise le fourneau en deux parties. Le grand cylindre porte un tuyau qui aboutit au cylindre à vapeur ; l'eau est refoulée dans les tubes bouilleurs à l'aide d'une pompe. Tout l'arrangement du foyer et de la chaudière est extrêmement favorable pour procurer, avec le même combustible, la plus grande quantité de chaleur possible : il est représenté fig. XL (pl. 4). Les petits tuyaux *a* sont vus par leur extrémité ou en coupe. Le grand cylindre *A*, placé au-dessus, est vu de profil ; des lignes droites ponctuées indiquent les communications entre les cylindres inférieurs

et le cylindre supérieur; le combustible est placé en *B;* la flamme et l'air échauffé passent sous le premier cylindre, sur le second, sont renvoyés par la voûte courbe sous le troisième, et circulent ainsi autour de chaque tube. A l'extrémité du fourneau ils passent par le conduit *o* de l'autre côté du mur de séparation, dont ils parcourent toute la longueur, repassent autour des bouts opposés des petits tubes, et s'échappent par la cheminée. Les bouts des petits cylindres portent sur la maçonnerie en brique des côtés du fourneau. Ces tubes peuvent être faits avec plusieurs métaux; ceux en fonte paraissent être les plus convenables. En général on doit leur donner un diamètre peu considérable. Les précautions qui ont été prises pour éviter les accidents rendent l'usage de ces tubes aussi sûr que celui des appareils de M. Watt.

La figure XXXIX, qui représente la machine de Hornblower, suffira pour donner une idée des deux cylindres employés par M. Woolfe, bien que souvent il y ait une différence dans la manière de fonctionner des deux appareils. En effet, dans la machine de Hornblower, comme nous l'avons vu, la vapeur n'agit comme force motrice que sur un des côtés des pistons. Lorsque ceux-ci sont au bas de leur course, la vapeur passe, il est vrai, du haut des cylindres dans leur partie inférieure; mais cette introduction de vapeur au-dessous des pistons n'a pour objet que d'égaliser les pressions, et c'est un

contre-poids placé à l'autre extrémité du balancier qui détermine l'ascension des pistons dans les cylindres. La machine de Woolfe agit quelquefois de la même manière, et dans ce cas la construction des cylindres ne diffère nullement de celle que nous avons déjà donnée ; seulement leurs proportions relatives sont établies d'après la dilatabilité de la vapeur. Mais Woolfe employa aussi la vapeur à haute pression en la faisant agir sur les deux côtés des pistons, et abandonnant, par suite, l'emploi du contre-poids : dans ce cas la disposition des cylindres éprouve une modification que nous allons indiquer. Le balancier, le mode d'ouverture des robinets, et les autres détails, n'offrent que peu de différence avec ceux des autres machines.

Le petit cylindre communique par ses deux extrémités avec le grand cylindre, au moyen de deux tuyaux, dont chacun aboutit d'un côté au sommet de l'un des cylindres, et de l'autre au fond du second. Le haut et le bas du grand cylindre sont mis en communication par un tuyau à deux branches avec le condenseur ; un autre conduit permet à la vapeur de la chaudière d'arriver dans le petit cylindre alternativement au-dessus et au-dessous du piston. Ces diverses communications sont alternativement ouvertes et fermées au moyen de soupapes ou de robinets d'une construction quelconque, mus par un mécanisme de la nature de ceux que nous avons indiqués ailleurs. Les deux cylin-

dres sont fermés à chacune de leurs extrémités; les pistons jouent dans des boîtes à étoupes, et les précautions prises dans les machines à condensation ordinaire pour maintenir les cylindres à la même température que la vapeur qui y pénètre sont également observées dans cet appareil. La manière de condenser la vapeur et celle de débarrasser le cylindre de l'eau d'injection et de l'air sont les mêmes que dans les machines à condensation de Watt. Si nous supposons maintenant que les pistons ont achevé leur course, et qu'ils sont au haut de leurs cylindres respectifs, trois soupapes s'ouvriront aussitôt: 1° celle qui permet à la vapeur d'arriver de la chaudière dans le haut du petit cylindre, 2° celle qui ferme le tuyau de communication entre le fond du petit cylindre et le sommet du grand, enfin celle qui se trouve dans le conduit qui se rend du fond du grand cylindre dans le condenseur. La vapeur a la liberté d'affluer de la chaudière sur la tête du petit piston; elle le sollicite à descendre, tandis que la vapeur qui est en dessous, ayant la liberté de passer dans le grand cylindre, pousse, en raison de sa force expansive, le piston de ce cylindre dans le vide qui s'est formé au-dessous de lui par l'écoulement de la vapeur dans le condenseur. En fermant ces trois robinets et en ouvrant trois autres, de manière à faire communiquer le fond du petit cylindre avec la chaudière, le sommet du même cylindre avec le fond du grand cylindre, et

le condenseur avec le dessus du grand piston, le mouvement se fera en sens inverse, et les pistons remonteront par la seule action de la vapeur.

M. Woolfe fit par la suite à sa machine quelques modifications que nous mentionnerons ici. Pour entretenir la chaleur nécessaire dans toutes les parties de l'appareil dans lesquelles la vapeur ne doit pas être condensée, il ne se contenta pas de les entourer d'une enveloppe de fonte ou de les placer dans la chaudière même : il plaça sous cette enveloppe, ou chemise, dont l'intervalle était rempli de vapeur très chaude ou d'huile, un fourneau particulier; de manière qu'en augmentant ou ralentissant le feu sous le grand cylindre, on pouvait accroître ou diminuer l'élasticité de la vapeur qui y arrive du petit cylindre.

M. Woolfe reconnut aussi que l'introduction de la vapeur ne devait pas s'effectuer de la même manière, soit que l'on employât ou que l'on n'employât pas la force expansive de la vapeur. Dans le second cas, celui où on laisse arriver dans les cylindres de la vapeur pendant tout le temps de la course du piston, il faut se servir de soupapes ayant un élargissement lent et progressif, de manière à ce que la vapeur n'entre d'abord qu'en filet très délié, et afflue ensuite peu à peu plus librement. Dans le premier cas, celui où l'on n'admet la vapeur que pendant une partie de la course du piston, on peut la laisser entrer plus librement.

M. Woolfe fit encore d'autres changements qui ne sont pas assez importants ni assez utiles pour trouver place ici.

Comme nous n'avons encore entendu parler d'aucune expérience directe faite sur la machine à condensation ordinaire et celle à deux cylindres, avec les mêmes parties accessoires nécessaires à leur manœuvre, en employant le même combustible, et enfin placées dans les mêmes circonstances sous tous les autres rapports, il serait prématuré, de notre part, de donner notre opinion sur le mérite de ces deux systèmes. Mais, d'après les états annexés aux rapports qu'on a publiés sur les résultats obtenus par plusieurs des machines du comté de Cornouailles, il paraît que l'emploi des machines à double cylindre donne sur celle à simple cylindre une économie considérable de combustible. Ces rapports faits chaque mois par les ingénieurs chargés de l'inspection des mines établissent que, pendant cinq années, le produit moyen des machines de Watt a été de 70 mètres d'eau élevée à un mètre par chaque kilogramme de houille. Les deux machines de Woolfe d'une dimension extraordinaire qui ont été établies dans les mines de ce comté ont donné pendant huit mois 175 mètres cubes d'eau, terme moyen. Au reste, la variation qui s'observe dans les effets du travail de la même machine nous porte à supposer qu'il existe des sources de déperdition de force tout-à-fait indé-

pendantes de l'adoption des deux cylindres ou de l'usage d'un seul.

SECONDE MACHINE ROTATIVE DE HORNBLOWER.

La seconde roue à vapeur de M. Hornblower est basée sur le même principe que celle qu'il avait construite peu d'années auparavant, mais plus simple dans sa combinaison. Elle a un mouvement de rotation produit au dedans d'elle-même par le jeu de quatre pistons à révolution tournant dans un tambour ou cage extérieur. Ces pistons sont quatre vannes semblables à celles d'un tournebroche qui va à la fumée ; mais le fer dont elles sont formées doit être assez épais pour qu'on y puisse pratiquer une rainure propre à contenir un peu d'étoupe, afin qu'elles ne laissent point échapper la vapeur lorsqu'elles sont en action. Elles sont montées sur un arbre ayant au centre un moyeu creux, dans l'ouverture duquel entrent les bouts des vannes ; les deux vannes opposées sont toujours disposées de la même manière, en raison de leur connexion intime, de sorte que, si l'angle de l'une des vannes vient à changer, son opposé changera de la même manière. Les quatre ne sont pas placées dans le même plan, mais à angles droits. Si nous concevons ces vannes maintenues dans une position verticale comme les ailes d'un moulin à vent, lorsqu'une d'elles est opposée à plat au vent, la

vanne correspondante doit lui présenter le côté : voilà précisément ce qu'elles font sans discontinuer dans leur mouvement de rotation sur leur arbre commun. La vapeur agit à plat sur la vanne, dans le tambour où elle la fait jouer, jusqu'à ce qu'elle ait décrit environ un quart de cercle ou quatre-vingt-dix degrés, et alors elle présente tout d'un coup à la vapeur son plan d'épaisseur, tandis que dans le même temps une autre vanne est entrée dans la partie mobile du tambour, et le mouvement de rotation continue sans interruption.

Au commencement du dix-neuvième siècle, il n'y avait pas plus de « quatre machines de quelque *importance* » en activité dans tout le continent de l'Amérique : l'une d'elles fournissait de l'eau à New-York; une seconde mettait en mouvement un moulin à *scie*, et les deux autres appartenaient à la corporation de Philadelphie (1).

En 1804, M. William Lushington introduisit une des machines de M. Watt dans la colonie de la Trinité, où, d'après l'estimation qui en a été faite, avec une économie des deux tiers de la dépense, elle faisait le même ouvrage que les moulins dont on se sert ordinairement dans cette colonie, et qui sont mis en mouvement par des bœufs (2).

(1) *Notice historique sur la machine à vapeur*, pag. 46.

(2) La Trinité est désignée dans le rapport comme la première colonie des Indes occidentales où la machine à vapeur

Une combinaison assez ingénieuse des appareils de Savery et de Papin fut proposée en 1805 par M. James-Boaz, de Glascow. Son objet était de prévenir la condensation de la vapeur qui a lieu ordinairement dans les machines construites d'après ce système. La vapeur agissait dans un cylindre sur la tête d'un piston ou flotteur absolument semblable à celui de Papin; ce piston, au lieu de reposer sur l'eau à refouler, flottait sur une couche de mercure occupant tout le fond du tuyau recourbé de Papin. Un double tuyau recourbé, dans lequel le vide se formait alternativement selon le mouvement du piston, servait à la fois de corps de pompe et de tuyau de conduite dans un réservoir supérieur. Nous n'entrerons pas dans plus de détails sur cette machine, plus ingénieuse qu'utile.

Plusieurs autres machines rotatives furent également inventées à cette époque. Peut-être croyait-on qu'il y avait plus d'avantage à trouver un appareil qui eût et pût imprimer un mouvement de rotation qu'à perfectionner les moyens en usage pour changer le mouvement alternatif du piston en ce même mouvement circulaire. Quoi qu'il en soit, nous laisserons de côté la plupart des appareils imaginés pour atteindre ce but, qu'ils ont

ait été introduite; mais nous pensons qu'il y en avait en activité à la Jamaïque bien des années avant cette époque.

manqué : nous ne décrirons que ceux qui, ayant été employés avec plus ou moins de succès, n'ont dû cesser de l'être que lorsque de nouveaux perfectionnements leur ont fait préférer d'autres machines.

MACHINE ROTATIVE DE CLÉGG. (FIGURE XXXVII, PLANCHE 5). (1)

Le piston à rotation de M. Samuel Clegg fait une révolution complète dans un canal, à une certaine distance du centre de mouvement. Les dispositions de cet appareil sont tout-à-fait différentes de celles d'aucune des machines de cette espèce construites jusque alors, et offrent beaucoup plus de chances de succès dans la pratique. M. Clegg contruisit plusieurs machines sur une échelle assez considérable, et d'après le modèle qu'il avait imaginé. Il nous informe qu'il a obtenu tous les résultats qu'il s'était promis de leur application. Elles occupaient très peu de place, fonctionnaient sans faire le moindre bruit, et pouvaient se fabriquer à environ moitié prix des machines à condensation.

(1) Nous avons donné la description de la machine de M. Clegg exactement, telle qu'elle se trouve dans l'auteur anglais; mais il est évident qu'il y a une omission dans l'exposé de la manière dont l'air et la vapeur s'échappent dans l'air ou se rendent dans le condenseur.

(*Note de l'éditeur.*)

Les fig. XXXVII, *A*, *B*, représentent deux coupes de cette machine. Elle se compose de deux parties bien distinctes : une base circulaire plate *z*, au milieu de laquelle se trouve l'axe *i*, qui communique le mouvement à la machine, et un canal hémisphérique décrivant un cercle autour de la base. La plaque *t t*, formant le fond de cette machine, que l'on suppose retournée, est extrêmement unie et plate. Une suite de billots *h* sont placés dans une *rainure* concentrique avec le bord extérieur de la base ; ces billots sont d'un poids considérable, et occupent toute la rainure circulaire, à l'exception de l'espace *x*, qu'on a réservé pour disposer les ressorts et les écrous nécessaires pour tenir cette suite de billots bien serrés les uns contre les autres. Leurs faces adjacentes sont polies et disposées de manière à bien s'adapter, et à ne laisser, autant que possible, aucun passage à la vapeur ; les surfaces inférieures sont également plates, et tout l'ensemble forme une seule surface horizontale et unie, à l'exception de l'espace *x*, réservé pour les écrous ; ceux-ci sont enfoncés assez avant pour qu'une barre plate puisse passer au-dessus d'eux sans les toucher. *i* est l'axe qui communique le mouvement à la machine ; *f*, une barre à laquelle est attaché le piston qui tourne dans le canal par l'action de la vapeur ; à cette barre se trouve fixée une petite roue *g*. Les billots mobiles sont emboîtés sur leurs deux faces intérieure et extérieure, et leur som-

met dans une boîte de fer $c\ d$, dans laquelle ils peuvent glisser de bas en haut et de haut en bas. Le piston fait sa révolution dans un canal ou chambre demi-circulaire, muni en n d'une soupape ou clapet par laquelle la vapeur est introduite en v. Les segments, ou billots, sont représentés comme parfaitement plats à leur surface inférieure; mais dans le faîte une partie de cette surface forme une légère courbure qu'on reconnaît sur la figure B, à la manière dont elle est ombrée. Quand le piston est placé comme dans la figure, et la vapeur introduite entre lui et l'ouverture ou soupape en n, il cède à la pression, et se meut circulairement; l'air qui se trouve dans la chambre de l'autre côté du piston est forcé à s'échapper, par les ouvertures $x\ x$, dans l'atmosphère ou dans un condenseur. Pendant le mouvement du piston, les segments portant sur le rebord plat de la chambre du piston ferment hermétiquement l'espace dans lequel la vapeur est admise. Le rouleau attaché à la barre, ou tige du piston, et destiné à le précéder, passe sous la face inférieure de chaque segment dans sa révolution, et l'élève tout juste assez pour permettre à la petite barre, ou tige du piston, qui doit avoir environ $\frac{5}{8}$ de pouce d'épaisseur dans la plus grande machine, de glisser entre leur surface inférieure et celle de la plaque, ou rebord. Le poids de chaque segment, après que la barre a passé dessous, le fait retomber à sa place; ou bien on

peut faire suivre le piston d'un autre rouleau destiné à remettre les billots dans leur première situation. Le passage de la barre sous chaque billot est entièrement achevé avant qu'il soit possible qu'aucune communication s'établisse entre l'air extérieur et le front du piston. Quand le piston à vapeur arrive à l'ouverture, ou soupape, suspendue à la plaque unie qui recouvre la chambre, et qui ne peut se mouvoir que dans une seule direction, le piston la repousse dans un renfoncement, et passe outre. La soupape par laquelle la vapeur arrive contre le piston se trouvant en ce moment fermée, celui-ci est entraîné au-delà du point correspondant à la soupape suspendue par l'impulsion qu'a acquise le volant. Quand il est allé assez loin pour permettre à la soupape de retomber, la vapeur est introduite de nouveau entre la soupape et le piston, ce qui produit une autre révolution. La vapeur qui a poussé le piston se trouvant alors en communication avec l'atmosphère par les ouvertures *z z*, elle s'échappe par cette issue. La surface plate sur laquelle portent les billots a environ trois pouces de large, avec une rainure près du centre pour introduire une espèce quelconque de garniture élastique. Mais M. Clegg trouva qu'on pouvait se dispenser de cette précaution. Dans la machine qui a servi à ses essais, la soupape d'admission de la pompe à air joue selon le procédé ordinaire.

M. Clegg estimait qu'un piston d'une machine égale à la force de vingt chevaux peut manœuvrer dans une circonférence de vingt pieds. Chaque billot, pour une machine de cette dimension, doit peser environ vingt livres, et n'a pas besoin d'être élevé à plus d'un demi-pouce ou $\frac{5}{8}$ de pouce pour livrer passage à la barre. De la pression exercée sur le piston et qui serait égale à la force nécessaire pour élever quatre mille livres poids à une hauteur de vingt pieds, il faut déduire la force employée à élever à une hauteur de $\frac{5}{8}$ de pouce ces billots, qui pèsent cinq cents livres : telle est, selon le calcul de M. Clegg, la force de sa machine ; et, s'il est juste, dussions-nous tripler la résistance présumée, ce serait encore un résultat très satisfaisant (1).

L'idée d'Amontons de produire un mouvement de rotation par la pression d'une colonne d'air placée sur un côté d'une roue servit de base à un mécanisme très ingénieux, imaginé par M. William Onions en 1811. La vapeur était introduite dans l'axe de la roue, et elle pénétrait par les rayons dans des cavités pratiquées à la circonférence. Le vide se trouvant formé alternativement dans ces cavités, la pression atmosphérique faisait monter l'eau, qui, en vertu de la gravité, produisait un mouvement de rotation. Plusieurs des détails de

(1) Observations sur l'appareil de M. Clegg. *Répertoire des arts*, vol. 15, pag. 325, second livre.

cette machine sont excellents; mais, considérée dans son ensemble, son ingénieux inventeur la trouva trop compliquée pour concevoir des espérances bien fondées de l'introduire dans la pratique.

Le premier essai de l'application de la vapeur à la navigation, sur une échelle assez considérable, qui ait enfin réussi dans la Grande-Bretagne, eut lieu à peu près vers cette époque, sur la Clyde. Un bateau d'environ quarante pieds de quille et dix pieds et demi de large, ayant une machine à vapeur de la force de trois chevaux, commença à manœuvrer sur la Clyde, où il servait pour le transport des passagers entre la ville de Glascow et celle de Greenock, en 1812 (1); mais attendu la nouveauté de ce moyen de navigation, et ses dangers apparents, le nombre des passagers était si peu considérable, que les entrepreneurs pendant quelque temps purent à peine couvrir leurs dépenses.

L'introduction de la machine à vapeur dans le Pérou est due à une suite de circonstances qui tiennent du roman. Nous avons décrit la machine à haute pression de M. Richard Trevithick, pour laquelle il obtint une patente en 1802. Pour mettre les connaisseurs à même de bien concevoir et d'apprécier la disposition et la manière d'opérer de sa machine, cet ingénieur en avait construit un mo-

(1) Buchanan, sur les bateaux à vapeur, pag. 7.

réussit à conclure un traité qui lui assurait l'exploitation de quelques unes des mines principales, sauf à payer environ un quart du produit qu'ils pourraient amener à la surface. Les contrats furent passés en août 1812; et M. d'Uvillé, poursuivant toujours son projet, s'embarqua de nouveau pour l'Europe, et toucha à la Jamaïque, où il mit à la voile pour Falmouth. L'esprit de M. d'Uvillé était trop plein des flatteuses espérances que lui inspirait son entreprise, pour ne point faire de fréquentes questions à ses compagnons de voyage au sujet des mines et des machines. Un jour qu'il conversait avec M. Teague, et lui exprimait son désir inquiet de trouver, s'il était possible, l'auteur du modèle qu'il avait transporté à Lima, il fut agréablement surpris d'entendre M. Teague lui répondre que M. Trevithick était son propre parent, et que, peu d'heures après leur arrivée à Falmouth, il pourrait les faire trouver ensemble. La chose eut effectivement lieu, et M. Uvillé résida plusieurs mois à Camborne avec le capitaine Trevithick, recevant durant son séjour des instructions de cet homme habile sur le travail des mines et la manière de construire et de faire manœuvrer les machines. Accompagné du capitaine Trevithick, il visita d'autres districts de mines. Introduit auprès de MM. Bolton et Watt, les meilleurs constructeurs de machines à vapeur qu'il y eût alors, il leur expliqua les difficultés qu'il

y avait à surmonter, provenant de la nature des routes dans un pays de montagnes et de précipices, et de la grande élévation des mines au-dessus du niveau de la mer. Nous ne savons s'il faut en accuser la répugnance de ces messieurs à s'engager dans une spéculation dont les chances de succès n'étaient rien moins que certaines, ou s'ils furent effrayés par les troubles politiques qui agitaient alors le Pérou, par les difficultés de transporter les pièces des machines, ou enfin par l'élévation du sol, qu'il regardaient comme peu favorable à l'emploi des machines à condensation. Quoi qu'il en soit, ils ne parurent pas disposés à entrer dans les projets de M. Uvillé.

Cependant le capitaine Trevithick et son ami ne se laissèrent point décourager, et résolurent de tenter un essai. En janvier 1814, le capitaine s'engagea à fournir neuf machines à M. Uvillé, au prix d'environ dix mille livres sterling; elles furent embarquées à Portsmouth le mois de septembre suivant, non sans qu'il eût coûté beaucoup de peine pour obtenir la permission du gouvernement britannique, et elles partirent accompagnées de M. Uvillé, et de trois ouvriers du comté de Cornouaille qui devaient les faire monter et mettre en place. Elles arrivèrent heureusement à Lima, où elles furent accueillies par le salut royal et par des réjouissances publiques. Cependant, après qu'elles eurent fait ainsi une partie si considérable de

leur voyage, telles étaient les difficultés locales qu'opposait un sol montueux au transport de ces masses pesantes, que ce ne fut qu'au milieu de l'année 1816 que l'une des machines put être mise en activité. C'était la première qu'on eût jamais vue dans l'Amérique méridionale, et elle excitait une vive curiosité. De grandes cérémonies eurent lieu, à ce qu'il paraît, dans cette importante occasion, et les honneurs les plus distingués furent conférés aux auteurs du projet par le gouvernement du vice-roi. La députation officielle nommée pour l'examen de cette opération neuve et vraiment extraordinaire fit au vice-roi un rapport qui fut publié dans la gazette de Lima, au mois d'août 1816. « Des travaux immenses et continus, disent « les rapporteurs, et des dépenses infinies ont sur- « monté des difficultés réputées jusque alors in- « vincibles. Nous avons été témoins, avec une ad- « miration sans bornes, de l'exécution et des effets « étonnants de la première machine à vapeur. Elle « est établie dans le territoire des mines royales de « Taüricocha, dans la province de Tarma, et « nous avons eu le bonheur de voir le desséchement « du premier puits dans la mine de Sainte-Rose, « dans le noble district de Pasco. Nous sommes « jaloux, continuent-ils, de transmettre à la pos- « térité les détails d'une entreprise dont la concep- « tion était si gigantesque et dont l'exécution nous « promet la possibilité d'extraire des mines des

« quantités si considérables d'argent que les na-
« tions voisines seront remplies d'étonnement. »

Ils publient ensuite les noms d'un certain nombre d'individus, en faveur desquels ils réclament l'éternelle reconnaissance de tous les Espagnols; et une chose assez remarquable, c'est que le seul nom anglais inscrit sur la liste est celui de M. Bull. (1)

Tandis que ces opérations se passaient au Pérou, le capitaine Trevithick, en Angleterre, s'occupait avec ardeur à préparer de nouveaux objets d'envoi, à construire des appareils pour frapper la monnaie, et des fourneaux pour purifier le minerai par la fusion : projet d'une importance incalculable, à cause de la rareté toujours croissante du vif-argent. Ce second envoi partit d'Angleterre en octobre 1816, et arriva à Lima le mois de février suivant. Le capitaine Trevithick montait le même vaisseau. A peine eut-il mis pied à terre qu'il fut sur-le-champ présenté au vice-roi, qui le reçut fort gracieusement, et son arrivée fut annoncée officiellement dans la gazette de Lima. Le même journal publiait en même temps les détails relatifs à la mise en activité d'une seconde machine, que l'on disait

(1) M. Willson Bull, de Chacewater, en Cornouaille, était l'un des trois habitants de ce comté qui avaient accompagné M. Uvillé; les deux autres étaient Thomas Trèverthen, de Crowar, et Henri Vivian, de Camborne.

supérieure à la première en force et en beauté, et à l'extraction de quelques échantillons de minerai d'une richesse extrême, tirés des mines rendues à l'exploitation, grâce à l'emploi de ces appareils. Il annonçait également l'arrivée des autres machines ; « mais, ajoutait-il, ce qui est d'une importance bien plus grande encore, c'est l'arrivée de *don Ricardo Trevithick*, professeur distingué de mécanique et de minéralogie, inventeur et constructeur des machines qui font l'objet de la dernière patente, et qui a dirigé en Angleterre l'exécution de celle actuellement en activité à Pasco. Ce professeur, avec l'assistance des ouviers qui l'accompagnent, peut construire autant d'appareils que les besoins du Pérou en exigeront, sans qu'on soit dans la nécessité de tirer d'Europe des objets si massifs. L'honorable caractère de don Ricardo, et son désir ardent de contribuer à la prospérité du Pérou, lui donnent des titres au plus haut degré à l'estime publique. Nous osons espérer que son arrivée dans ce royaume formera une époque de sa prospérité, en lui procurant la jouissance des richesses intérieures dont il resterait privé sans une telle assistance, ou si le gouvernement britannique n'avait pas permis l'exportation de ces objets : faveur qui avait été jugée jusqu'à présent impossible à obtenir, par tous ceux qui savent combien cette nation est jalouse de la supériorité de ses inventions dans

les arts et dans toutes les branches de l'industrie. »

Telle était l'importance qu'on attachait à ce que don Ricardo Trevithick eût la surintendance personnelle des travaux, que le vice-roi ordonna à l'intendant général des mines de l'escorter avec une garde d'honneur jusqu'au district des mines, où son arrivée occasiona les plus grandes réjouissances; et plusieurs des principaux personnages du pays n'hésitèrent pas à faire un voyage de plusieurs jours au-delà des montagnes pour venir le féliciter à Lima. M. Uvillé avait écrit à ses associés « que le Ciel venait de lui envoyer M. Trevithick pour la prospérité des mines, et que l'intendant général avait proposé de lui élever une statue en argent massif ».

Pour terminer le récit de ces incidents romanesques, on ne doit pas oublier que don Ricardo est maintenant surintendant de la monnaie royale du Pérou; et l'espérance que l'on a du succès de ses opérations est si grande, qu'il a reçu des ordres pour faire établir un balancier *six fois plus fort*. Les derniers détails que l'on a reçus sur son compte, d'après M. Boase, nous représentent don Ricardo comme jouissant d'une considération toujours croissante, et ayant devant lui la flatteuse perspective d'une grande fortune. Outre ses émoluments comme patenté et comme ingénieur, il a un cinquième des bénéfices dans la compagnie de Lima,

hommes qui ont fait de grandes découvertes de voir les calomnies de quelques uns de ses contemporains confondues, et leurs voix envieuses étouffées au milieu de ce concert d'hommages rendus par ses concitoyens à ses vertus et à son génie. Il vécut assez pour être témoin de l'introduction de ses inventions dans toutes les manufactures, et de l'extension prodigieuse que le commerce anglais avait acquise par suite des perfectionnements qu'il avait apportés dans la mécanique. Il vieillit entouré de

lèle. Comme on lui demandait si son invention était la suite d'un enchaînement de réflexions ou de calculs antérieurs, il répondit négativement, et ajouta, avec une admirable candeur, « qu'il avait été surpris lui-même de la perfection de « son jeu, et qu'en le regardant marcher pour la première « fois, il avait éprouvé le même genre de plaisir que si elle « avait été la création d'un autre. » En effet, il avait l'habitude de considérer ses inventions, qui avaient porté son nom dans tous les coins du globe, comme des idées si simples et si naturelles, qu'elles auraient pu se présenter à tout autre qu'à lui, et disait qu'il avait été plus heureux que les autres en cela seul qu'il avait été le premier à les soumettre au tribunal de l'expérience. S'il n'attachait pas beaucoup d'importance au mérite de ses inventions, en revanche elles lui coûtaient peu d'effort. Nous n'avons maintenant aucun moyen de nous assurer s'il avait jamais acquis en mécanique une grande dextérité manuelle; mais ce qu'il y a de certain, c'est qu'il n'essaya jamais d'aider à la confection de ses modèles, ni de mettre aucun de ses plans à exécution postérieurement à son arrivée en Angleterre, quelles

sa famille et de ses amis, qui le chérissaient autant qu'il le méritait par sa bonté et la vivacité de ses affections; et ce vénérable vieillard termina sa longue carrière, qu'il n'avait illustrée que par des services rendus à l'humanité, le 25 août 1819. Sa mort fut plutôt le résultat d'une défaillance de la nature que la suite d'une maladie quelconque.

Son nom n'a pas besoin de nos éloges : car celui qui le portait a vécu assez pour le voir couronner d'honneurs que l'envie ne cherchait plus à lui disputer. Plusieurs générations s'écouleront probablement avant que sa réputation ait cessé de s'ac-

qu'aient pu être ses occupations à une époque antérieure. Il employait la plus grande partie de son temps à dessiner ou à écrire des lettres, mais fort peu à surveiller les travaux qui s'exécutaient sous ses ordres. Cela vient probablement de ce qu'il avait la conscience que ses idées et ses inventions n'étaient jamais aussi parfaites que lorsque son esprit était laissé entièrement à lui-même, quoique, d'un autre côté, il en résultât pour lui ce désavantage, que l'exécution de ses plans demandait beaucoup plus de temps qu'il n'en aurait fallu d'ailleurs. La maison où il résidait, près de Birmingham, était à deux milles de Soho, où se trouvaient tous les ateliers. Il était rare qu'il visitât ces derniers plus d'une fois par semaine pour voir ce qui se passait, et il n'y restait guère plus d'une demi-heure. Quant à M. Bolton, il ne prit jamais aucune part à la fabrication des machines depuis 1786 : son temps se trouvait entièrement employé à des arrangements pour obtenir la confiance et l'approbation du public, et à chercher les moyens de propager l'usage de la machine. » (*Mémoires de Playfair.*)

croître. Nous avons signalé M. Watt comme l'auteur des plus grands perfectionnements faits à la machine à vapeur ; mais, dans le fait, en récapitulant tout ce qu'il y a d'admirable dans sa structure, et comment il a généralisé son utilité, il devrait bien plutôt en être considéré comme l'inventeur. Ce fut grâce à ses conceptions que le jeu de ces appareils fut réglé de manière à les rendre capables de s'appliquer aux manufactures qui demandent l'emploi du mouvement le plus uniforme et où se fabriquent les objets les plus délicats, tandis que leur force s'accrut au point de faire mouvoir les masses les plus pesantes. C'est grâce à son admirable esprit d'invention que cette machine devint aussi étonnante sous le rapport de la précision, de la facilité de ses mouvements, de sa puissance, que de la facilité avec laquelle on l'adapte à tout. La trompe d'un éléphant, qui peut ramasser une épingle ou briser un chêne, n'est rien en comparaison de cette machine. Elle peut graver un cachet, et réduire en morceaux des masses du métal le plus dur, comme si c'était du verre ; elle peut servir à tirer à la filière un fil métallique aussi fin que celui d'un ver à soie, et enlever dans les airs un vaisseau de guerre comme un jouet d'enfant. Elle peut broder la mousseline, forger des ancres, découper l'acier en ruban, et pousser des vaisseaux lourdement chargés, malgré les vents et les flots.

Il serait difficile de calculer la valeur des béné-

fices que ces inventions ont procurés à l'Angleterre. Il n'y a point de branche d'industrie qui ne leur ait été redevable; et dans la plus importante de toutes, l'*exploitation* des mines, elles ont non seulement permis d'effectuer ce qui eût été impraticable sans elles, mais encore multiplié au centuple les produits. C'est notre machine à vapeur perfectionnée qui a livré les dernières batailles en Europe, qui a soutenu la grandeur politique de notre pays dans la lutte terrible dont il vient de sortir. C'est sa puissante influence qui nous met aujourd'hui en état de payer notre dette, et de soutenir la lutte pénible où nous sommes encore engagés contre l'industrie et les capitaux des autres nations. Mais ce serait envisager son importance sous un point de vue bien étroit que de la borner aux avantages que nous venons d'énumérer. Par elle s'est accrue indéfiniment la masse des commodités et jouissances humaines; elle a rendu accessibles à toutes les fortunes, dans le monde entier, les produits jusque alors réservés à l'opulence, et a créé partout *des éléments* de prospérité; en un mot, elle a armé la faible main de l'homme d'un pouvoir auquel on ne peut assigner de limites, complété l'empire de l'esprit sur la matière, et préparé une base solide à tous les prodiges futurs de la puissance mécanique, qui doivent seconder et récompenser les travaux des générations à venir. Et c'est à un seul homme que l'on doit la presque

totalité de ces avantages. Certes, jamais homme avant lui n'avait fait à la société un don si précieux : le bienfait est non seulement universel, mais les effets sont sans bornes ; et les fabuleux inventeurs de la charrue et des métiers à tisser, qui ont été déifiés dans des siècles d'ignorance par la reconnaissance de leurs contemporains abusés, ont fait à l'humanité un présent bien moins utile que l'inventeur de la machine à vapeur actuelle.

Telle sera la gloire de Watt dans les générations futures ; et ce que nous avons dit de lui comme homme de génie suffira sans doute pour ses descendants et ses compatriotes ; mais quant à ceux à qui il appartenait de plus près, qui ont vécu dans son intimité et joui de sa conversation, ce n'est point sous ce rapport qu'ils se rappelleront le plus fréquemment son souvenir, qu'ils pleureront le plus amèrement sa perte, ou même qu'ils lui accorderont le plus haut degré d'admiration.

Aucun homme n'eut jamais l'esprit plus sociable, des manières plus modestes et plus engageantes, plus d'indulgence et d'affection pour tous ceux qui l'approchaient. Sa conversation, quoique nourrie de faits et substantielle, était pleine de charme et d'agréments ; il y régnait une sorte de gravité paisible, assaisonnée d'un mélange de gaîté qui donnait un relief infini aux discussions profondes et lumineuses qui en formaient le fond et le caractère principal. Sa voix était forte et sonore, quoi-

qu'il parlât ordinairement d'un ton bas et quelque peu monotone, qui cadrait admirablement avec la justesse et la brièveté de ses observations, et faisait mieux valoir les anecdotes plaisantes dont il entremêlait sa conversation, et qu'il racontait avec le même sérieux apparent, à peine démenti par le léger sourire qui effleurait ses lèvres. Il avait naturellement l'aversion la plus prononcée contre toute espèce d'ostentation, de forfanterie et de prétention, et il ne manquait jamais de décontenancer les charlatans de cette espèce par la mâle simplicité et l'honorable assurance de son langage et de ses gestes. Non seulement il avait une disposition générale à la bonté et à la bienveillance, mais il était généreux et porté à sympathiser avec les sentiments de ceux qui l'entouraient; il accordait l'assistance la plus libérale et toutes sortes d'encouragements aux jeunes gens qui annonçaient le germe de quelque talent, et qui avaient recours à sa protection ou à ses conseils. Sa santé, qui avait été chancelante dans ses premières années, sembla s'affermir à mesure qu'il avançait en âge; et il conserva jusqu'au dernier moment de son existence non seulement l'exercice libre et plein des facultés extraordinaires que la nature lui avait accordées, mais toute la vivacité d'esprit et la gaîté sociale qui avaient signalé ses plus beaux jours.

Il arriva paisiblement au terme de son heureuse et utile carrière. Il avait éprouvé, durant l'été,

une indisposition légère, qui ne prit un caractère sérieux que quelques semaines avant sa mort. Il ne lui resta dès lors aucun doute sur l'événement qui s'approchait; et, avec sa tranquillité et sa bienveillance ordinaires, il semblait n'avoir d'autre soin que de faire sentir aux amis qui l'entouraient les nombreux motifs de consolation qu'ils pouvaient puiser dans les circonstances qui accompagnaient sa fin. Il exprimait sa sincère gratitude envers la Providence pour la longueur des jours qu'elle lui avait accordés et son exemption de la plupart des infirmités de l'âge, comme aussi pour le calme et la sérénité qui avaient embelli le soir de sa vie, après avoir terminé les travaux honorables du jour. C'est ainsi que, plein d'années et d'honneur, avec tout le calme et la tranquillité possible, il exhala son âme sans douleur, sans effort, et passa du sein de sa famille dans celui de la divinité.

MACHINES A ROTATION.

La roue de sir William Congrève est semblable à celle dont nous avons parlé comme inventée par M. Watt. On peut donner une idée de son appareil en disant qu'il ressemble à une roue à eau en mouvement. La vapeur affluant dans les cavités de la partie la plus basse de sa circonférence les élève à la surface en vertu de sa supériorité de tension, et produit un mouvement continu autour d'un axe.

Quoi qu'il en soit, aucune description de ce projet n'a été publiée.

La machine rotative de M. Job Rider, pour laquelle il obtint une patente en 1820, opère par l'élasticité de la vapeur agissant contre un vide, sur une série de soupapes placées sur un axe qui communique le mouvement de rotation de la même manière que dans les appareils de Cook et de Cartwigth; mais les soupapes de M. Rider, qui sont chez tous les autres la partie faible, sont construites d'une manière fort ingénieuse, et l'appareil peut être considéré comme plus avantageux pour la pratique qu'aucun de ceux que nous avons décrits, qui se trouvent construits sur le même principe. En Irlande, M. Rider a établi plusieurs machines de dimensions considérables, et en a conduit les opérations pendant un espace de temps assez long pour le mettre en état de parler avec certitude de leurs effets. Attendu qu'on pourrait considérer comme un surcroît inutile de frais et d'étendue pour cet ouvrage la figure et la description d'un appareil qui se trouve représenté dans le livre intitulé le *Magasin du mécanicien* (1), qui est entre les mains de tout le monde, nous renvoyons au premier volume de cet ouvrage périodique, plein d'intérêt, pour de plus amples détails, et l'examen

(1) Francis Geoffroy, esq., c. 2.

d'une planche où l'invention de M. Rider se trouve gravée.

Dans le système de M. Moore, le mouvement de rotation est produit par la révolution d'une roue garnie, sur sa circonférence, d'aubes ou vannes qui jouent sur charnières. Cette roue a des saillies ménagées au-dedans de sa circonférence et destinées à recevoir les soupapes à des instants prévus. La roue tourne dans un cylindre immobile fermé hermétiquement à ses deux extrémités, qui sont traversées par l'axe de la roue ou tambour. Il ne doit exister aucune communication de l'espace entre le tambour et la cage avec l'extérieur. La vapeur amenée par des tuyaux presse sur l'une des faces des soupapes, dont le côté opposé est en communication avec le condenseur, et détermine leur mouvement, et par suite celui de la roue. Cette machine ne diffère que par le jeu des soupapes de celles que nous avons déjà données.

L'idée de M. Moore est assez ingénieuse, et si l'on pouvait imaginer un moyen pour faire tourner le tambour intérieur sans la déperdition d'une force aussi considérable que celle qui est employée avec la disposition actuelle calculée pour fermer toute issue à la vapeur, cet appareil paraîtrait susceptible de beaucoup de précision dans son jeu; mais jusqu'ici on n'a pu éviter, pour atteindre le but que l'on se proposait, celui d'une fermeture exacte, de faire frotter contre la cage fixe une suc-

face aussi développée que celle des bords du cylindre tournant.

Le moyen le plus simple et le plus praticable pour la production d'un mouvement de rotation par le poids d'une colonne de fluide agissant sur la circonférence d'une roue est celui qui a été proposé par M. Thomas Masterman, en 1820 (1). Pour le principe et la combinaison, il est semblable à celui de M. Onions; mais pour tout ce qui est de la simplicité de la construction, la disposition convenable des parties, et l'énergie de l'action, il est certain que ce dernier appareil est celui qui paraît incomparablement le plus propre à être employé utilement.

Les figures XLI *A*, *B*, sont des sections verticales de cette même roue à vapeur. *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, sont des contre-poids attachés à des leviers de peu de longueur, qui ouvrent les soupapes, pendant la révolution de la roue. *S S'* est un cylindre dans lequel tourne la roue; il est construit de manière à ne point laisser échapper la vapeur, et partagé en six compartiments au plus par les soupapes attachées aux leviers. Chacune de ces chambres a une communication avec une suite de conduits qui viennent aboutir à l'axe de la roue, et qui sont prati-

(1) *Répertoire des arts*, vol. 40, pag. 194. Second livre.

(2) *Description de la machine à vapeur rotative de la patente de Masterman.* Londres, 1822.

qués dans des rayons *g*, *h*, *i*, *k*, *l*, *m*. Ces rayons creux tournent avec la roue le long d'une plaque ou surface immobile représentée fig. XLI A, qui a elle-même trois ouvertures, dont la première *p* conduit au condenseur; la seconde *n*, à la chaudière, et la troisième *z*, au réservoir à eau. *x* est l'axe sur lequel la roue tourne, et qui communique le mouvement au reste de la machine. Les soupapes *a*, *b*, *c*, etc., tournent sur des axes qui se prolongent à travers la paroi latérale de la roue, sans laisser d'issue à la vapeur, et sont attachées aux poids dont nous avons déjà parlé.

La suite mobile des canaux aboutissant à l'axe sont mis en mouvement de manière à ce que chacune soit opposée à son tour à l'une des trois ouvertures de la plaque fixe; chaque rayon, et par suite chaque chambre, dans la circonférence de la roue, communique à son tour avec le condenseur, la colonne d'eau et la chaudière. Dans la position de la roue représentée par les figures XLI *A*, *B*, l'ouverture mobile du bras ou rayon *h* est opposée à l'ouverture *p*, qui conduit au condenseur; le rayon *l* communique alors, par l'ouverture *z*, avec la colonne d'eau dont on permet l'introduction jusqu'à ce que l'anneau *SS'* soit à moitié rempli. La vapeur de la chaudière n'ayant rien qui l'empêche d'affluer en *p*, elle remplira la partie de la circonférence entre *a* et *b*; sa force de tension empêchera l'eau de s'élever du côté où elle est

elle-même introduite, et fermera la soupape *a*; mais avec un degré de plus, elle aura une tendance à forcer l'eau de monter de l'autre côté, par les soupapes qui s'ouvrent dans cette direction seulement. Le tuyau *h* communiquant avec le condenseur, la colonne d'eau sur la circonférence de la roue se trouvera délivrée de la pression de l'atmosphère, et s'élèvera à une hauteur correspondante au degré de vide du condenseur. L'excès de poids produit par l'affluence de l'eau en S' déterminera un mouvement de rotation. La soupape *a* arrivera au point *f*. Le tuyau *i* se trouvera vis-à-vis l'ouverture *p*; la vapeur s'écoulera dans le condenseur; l'eau refoulée par la vapeur qui pénètre par le tuyau *k* arrivé en *i* remontera en *S'* comme précédemment. Ce mouvement se continuera autour de l'axe *x*. A mesure que chaque soupape fermée arrive en *f*, l'action du contre-poids n'étant plus contrebalancée par la tension de la vapeur, la soupape s'ouvrira.

Dans cette machine, la force motrice dérive de la gravité de l'eau; mais quoique la colonne de fluide, quand on fait usage du condenseur, ne puisse excéder le poids d'une colonne égale à la pression atmosphérique, la section horizontale peut être faite d'une dimension quelconque. Dans la pratique, quoi qu'il en soit, l'inventeur recommande de ne pas faire manœuvrer la roue par une pression moindre que celle d'environ vingt-

huit pieds. Il est évident que cette roue peut être mise en mouvement par une vapeur à haute pression : il suffit pour cela de faire en sorte que le tuyau qui part de l'ouverture fixe communique avec l'atmosphère, au lieu d'aboutir au condenseur; et alors on peut donner à la roue un diamètre quelconque, et l'on a calculé qu'elle pourrait êtremise en jeu de cette manière avec environ la moitié de la pression donnée à la vapeur dans la machine à mouvement intermittent.

M. Masterman assure, d'après l'expérience, que sa roue revient à un prix beaucoup moins élevé qu'une machine à condensation ordinaire, qu'elle coûte moins à mettre en œuvre et à réparer, qu'elle occupe moins de place, que son jeu est plus facile et plus sûr, et qu'en outre elle emploie utilement une grande partie de la force perdue dans les autres machines, où le frottement a lieu sur des surfaces beaucoup plus considérables. Sur ce dernier point il cite une expérience dans laquelle le frottement d'une roue de quinze pieds de diamètre, et du poids d'environ trois tonneaux, n'absorbait qu'une force équivalente à la pression de trois huitièmes de livre par pouce carré d'une section horizontale de l'eau contenue dans l'anneau, résultat dont on s'assurait au moyen d'un thermomètre attaché au tuyau d'admission; et comme les soupapes avaient environ 78,6 pouces carrés, cela ne faisait pas plus de 30

livres sur la soupape fermée (1). Cette roue tournait avec une vitesse de 688 pieds par minute, avec une pression d'environ trois livres et demie par pouce; mais une partie considérable de cette pression doit avoir été produite par la diffusion de la vapeur en passant à travers les rayons. Quoi qu'il en soit, la vitesse la plus économique est d'environ 400 pieds par minute.

En supposant le diamètre de la roue d'environ vingt-huit pieds, son épaisseur de douze pouces, avec des tuyaux rayonnants ou bras de trois pouces et un huitième, le tout tournant sur un axe de six pouces de diamètre, avec une colonne d'eau égale à dix livres par pouce et munie d'un condenseur, on aura une machine de la force de douze chevaux; et avec une colonne d'eau égale à dix livres agissant contre l'atmosphère, elle équivaudra à une force de seize chevaux. Mais la dépense du combustible sera plus grande, proportionnellement à l'effet, dans le rapport d'environ cent cinquante à quatre-vingt-quatorze. En comparant l'effet d'une machine à mouvement alternatif, travaillant avec une pression de dix-sept livres par pouce carré, et ne laissant d'effectif qu'une force de sept livres, M. Masterman obtient une force effective de huit

(1) Description, pag. 24.

livres poids et un sixième par la pression de treize livres et demie, de sorte que l'effet pour la même quantité de charbon sera d'environ cent cinquante pour la machine rotative, et d'environ quatre-vingt-quinze pour la machine à condensation ordinaire. Nous sommes entrés dans des détails minutieux sur cet appareil, dans le but d'appeler l'attention des mécaniciens sur les machines rotatives. Si ces dernières pouvaient jamais soutenir avec succès la concurrence avec les machines à mouvement alternatif, il est probable qu'elles devraient ce perfectionnement à une construction basée sur le principe adopté par MM. Onions et Masterman. Ce dernier, quoi qu'il en soit, en ne considérant en lui que l'individu, et mettant de côté le mérite de sa machine à vapeur, a droit à toute l'approbation due à des sentiments élevés et à une conduite libérale. L'ample description de sa machine, accompagnée d'une planche explicative, l'appel noble et loyal qu'il a fait à l'expérience, dans le traité qu'il publia en 1822, sont dignes des plus grands éloges. Si cet usage était plus fréquent parmi les mécaniciens, surtout les inventeurs et les patentés, il en résulterait des avantages incalculables d'abord pour eux-mêmes, et en définitive pour le public. Eu toute chose le mystère ne vaut rien, et l'invention qui n'est pas placée, dans tout ses détails, sous les yeux du public, n'est le plus souvent soustraite à l'examen que

parce que l'auteur patenté a le sentiment secret de son manque d'originalité ou de mérite.

Dans la création première de la machine à vapeur, et dans toute les combinaisons et formes de la chaudière adoptées par la suite, la vapeur, quelle que fût sa tension, avait toujours été produite en *contact* avec l'eau. Cette méthode exigeait l'emploi de vaisseaux d'une dimension considérable, attendu qu'il fallait proportionner la capacité des chaudières de manière à ce qu'elles pussent servir *en même* temps comme réservoirs de la vapeur. Cela forçait nécessairement les ingénieurs à n'élever la vapeur qu'ils employaient qu'à une température assez basse comparativement à celle qu'elle peut acquérir : car il était presque impossible de construire un grand vaisseau d'une force suffisante pour ne pas faire courir les chances d'une explosion, lorsqu'il contiendrait de la vapeur à une tension considérable. On sait aussi depuis long-temps que l'eau peut être élevée à un très haut degré de température, et portée même à la chaleur rouge, lorsqu'on empêche la formation de la vapeur par une pression suffisante : c'est dans les moyens d'arriver à ce résultat que consiste la difficulté.

Comme il est reconnu que la compression dont l'eau devient susceptible au moyen d'une pompe foulante est à peu près inappréciable, M. Jacob Perkins conçut l'idée qu'on pourrait la chauffer aussi

facilement, quelle que fût la pression exercée sur elle par ce moyen. Il pensa qu'après l'avoir portée au degré de chaleur convenable dans un vaisseau, on pourrait la faire passer de celui-ci dans un autre où elle aurait la faculté de se dilater en vapeur, et serait alors propre à tous les usages auxquels la vapeur s'applique aujourd'hui. La manière dont il exécuta son projet est fort ingénieuse; et en 1823, après avoir obtenu une patente, il exposa un modèle de son invention, construit sur une assez grande échelle, et qu'il fit jouer sous les yeux du public.

Cet appareil expérimental se composait d'un tube bouilleur de cuivre, dont les parois avaient environ trois pouces d'épaisseur, et d'une capacité suffisante pour contenir huit galons d'eau. Il était fermé à l'extrémité inférieure, et à la partie supérieure il avait cinq petites ouvertures où entraient autant de petits tuyaux. Ce cylindre était placé verticalement dans un fourneau dont le foyer était entretenu dans un état de combustion vive par un courant d'air qu'on y faisait passer à l'aide de soufflets. Deux des petits tuyaux portaient des soupapes, l'une chargée d'un poids égal à trente-cinq fois celui de l'atmosphère, et l'autre de deux atmosphères de plus; la chaudière était entièrement remplie d'eau et chauffée entre 350 et 450 degrés de Fahr. (environ 220 à 300 therm. cent.). Quand elle avait acquis cette température, ce dont on s'assu-

rait, comme à l'ordinaire, au moyen d'un thermomètre placé dans la chaudière, une petite quantité d'eau était introduite, au moyen de la pompe foulante, par le tuyau où se trouvait la soupape chargée du poids de trente-sept atmosphères; et comme l'eau est incompressible, une égale quantité de liquide était contrainte, par la différence des pressions, à monter dans le petit tuyau où se trouvait la soupape chargée du poids de trente-cinq atmosphères. Cette soupape étant levée, l'eau, échauffée de 450 à 500 degrés, était introduite dans une chambre horizontale, et formait, en se dilatant, une vapeur d'une élasticité considérable. Dans cette chambre horizontale, ou cylindre, M. Perkins plaçait un piston, et ouvrait, par le moyen ordinaire, la communication entre les deux côtés du piston et la chaudière ou le condenseur. L'eau, chauffée au rouge, arrivant à l'une des extrémités du cylindre et agissant à l'état de vapeur sur l'un des côtés du piston, tandis qu'il y avait un vide formé de l'autre côté, il en résultait un mouvement alternatif de va et vient. La vapeur était condensée sous une pression de cinq atmosphères, et M. Perkins estimait que la force de son appareil était équivalente à la différence entre cinq et trente-cinq atmosphères, ou à 430 livres sur chaque pouce carré du piston.

Une partie de l'eau qui avait été condensée à une température de 350 degrés était ramenée dans

la chaudière au moyen d'une pompe foulante, comme dans les machines ordinaires, ce qui économisait par là une certaine quantité de chaleur.

La sûreté de cet appareil était garantie par les moyens ordinaires d'une soupape de sûreté semblable à celle que nous avons décrite, et chargée du poids que l'expérience indiquait pouvoir être supporté par la chaudière sans qu'elle fût exposée à crever. La chaudière employée par M. Perkins, dans son essai, ainsi que le tuyau par lequel la vapeur se forme au sortir du générateur, pouvait résister à une pression intérieure de quatre mille livres par pouce carré, effort huit fois plus grand que celui contre lequel les soupapes permettaient d'avoir à résister. Par surcroît de précaution, il renouvela l'usage d'une seconde soupape de sûreté en faisant aboutir à la chaudière un tube de métal assez fort pour résister à un certain degré de pression, mais qui crèverait lorsqu'elle dépasserait certaines limites. Il essaya l'efficacité de ce procédé, en augmentant successivement la pression de l'eau jusqu'à ce que le tube crevât. Cet appareil est représenté fig. XLIII, pl. 6. *A A* est le vaisseau que M. Perkins appelle *le générateur*. Ce vase, qui est placé au milieu d'un fourneau, peut être adapté à la chaudière ordinaire d'une machine à vapeur. Au haut du générateur est une soupape à vapeur *V*, maintenue par le levier *L* et les poids *W*. Cette soupape, lorsqu'elle est soulevée, permet à l'eau

de passer dans le conduit *S*. *B* est un tuyau de sûreté à l'extrémité duquel est un indicateur ; ce tuyau est toujours en communication avec le générateur. *G* est un tuyau partant de la pompe foulante *P*, et destiné à alimenter d'eau le générateur. Lorsque l'on veut produire de la vapeur, le générateur plein d'eau est chauffé jusqu'à ce que le liquide ait acquis, comme nous l'avons dit, une température de 4 à 500 deg. Fahr. ; alors l'introduction d'une nouvelle quantité d'eau force celle qui est échauffée à soulever la soupape *V*, et l'eau s'échappe dans le tuyau *S*, où elle passe à l'état de vapeur. Pour que cette opération s'exécute d'une manière régulière et continue, M. Perkins se sert d'un poids attaché à la brimbale de la pompe *P*, qui est une pompe foulante à un seul coup, garnie d'un poids *R* faisant l'office d'un vaisseau à air. A l'extrémité de la brimbale est une chaîne attachée à une manivelle, et par un mécanisme intermédiaire entre la soupape *V*, celle de la pompe foulante et le poids de la brimbale, à chaque coup de la pompe, une certaine quantité d'eau est introduite dans le générateur et une égale quantité sort de la soupape *V*.

Le tube de sûreté est en communication avec un indicateur *F*, composé d'un cadran et d'une aiguille, montés sur un piston pressé par la vapeur du tuyau *B*. L'aiguille, par son mouvement, fait connaître la force de la vapeur.

Ce tube, lorsqu'il est soumis à une trop forte pression, se déchire comme une feuille de papier sans faire courir aucun danger aux personnes présentes.

Nous avons dit que la chaudière de M. Perkins contenait huit gallons, et que les parois avaient trois pouces d'épaisseur; son cylindre avait deux pouces de diamètre sur dix-huit de long, et le piston effectuait sa course dans un espace de douze pouces; il estimait cet appareil comme équivalent à une machine de Watt de la force de dix chevaux, avec une dépense seulement de deux boisseaux de charbon par jour. La machine et ses accessoires occupaient un espace de quarante-huit pieds, et à l'exception du cylindre et de son piston, l'appareil était considéré pour ses dimensions et sa solidité comme suffisant pour une machine d'une force triple.

M. Perkins avait proposé d'appliquer son invention aux chaudières des machines d'une construction quelconque, en élargissant ou en reconstruisant leurs fourneaux. Il attache ses tubes bouilleurs *patentés* au-dessous d'une chaudière ordinaire quelconque; l'eau qui est échauffée sous une grande pression, au lieu d'être envoyée immédiatement dans le cylindre à piston, est refoulée dans l'eau même que contient la chaudière ordinaire, et l'échauffe au degré requis par la nature ou la disposition de la machine. Il calculait que de cette ma-

nière un seul boisseau de charbon produisait autant de vapeur avec une pression de quatre livres par pouce que neuf boisseaux par la méthode ordinaire.

D'après ce que nous venons de dire, on voit qu'à proprement parler, M. Perkins n'a fait aucune amélioration à la machine à vapeur : car le modèle qui a servi à ses expériences était le même dans tous ses détails que l'appareil de Watt ; d'un autre côté, l'emploi de la vapeur à une température élevée n'est point un fait nouveau dans l'histoire de la machine à vapeur. Il était également connu, depuis long-temps, que la pression à laquelle l'eau est soumise lui permet d'atteindre une haute température sans se vaporiser ; mais la manière d'échauffer l'eau soumise à cette pression, et la méthode simple et efficace de la produire et de la continuer, peuvent peut-être prendre place parmi les inventions les plus importantes du temps.

Quant aux avantages que peut avoir pour l'économie du combustible l'adoption de la chaudière de M. Perkins, c'est un point qui reste encore à constater par des expériences en grand. Une économie de moitié, telle qu'il l'annonce, serait un avantage immense si elle se réalisait ; et ne fût-elle même que du quart, nous aurions tout lieu de croire que cet homme ingénieux n'eût pas travaillé en vain pour ses intérêts et pour sa réputation.

Il est aisé de se faire une idée du nombre des

applications que l'on pourrait faire de la vapeur à une température si élevée, qui permettrait de construire des appareils plus portatifs. Leur petite dimension faciliterait l'extension de son emploi à des usages pour lesquels sa puissance a été regardée jusqu'à présent comme nulle ou douteuse. Si l'on se rappelle combien, pendant les quarante dernières années, la machine à vapeur a reçu d'applications nouvelles, si l'on examine la tendance générale que l'on a à en faire un premier moteur universel, et l'expérience que l'on a acquise de ses effets, l'on sera convaincu que toute invention qui diminuera son volume sans affaiblir sa force lui fera faire un pas de plus vers le but qu'elle doit atteindre, celui de servir d'auxiliaire à la plus importante de toutes les professions, celle du paysan et du cultivateur, pour laquelle elle n'a été jusqu'à présent que d'un bien faible secours. On se sert aujourd'hui, quelquefois, de la machine à vapeur pour moudre le blé et hacher la paille. Quels honneurs ne sont pas réservés à l'homme qui saurait tirer parti de sa puissance pour diriger la charrue et la herse, pour semer et pour moissonner.

APPENDICE (*).

La machine de Woolfe a été importée en France, en 1815, par M. H. Edwards, qui a pris, à cet effet, un brevet de quinze ans. Nous ne décrirons pas cette machine, dont le principe et la manière d'opérer ont été exposés plus haut. Les machines construites à Chaillot par M. Edwards ne diffèrent d'ailleurs de celles de Woolfe que dans des détails d'exécution, et il n'entre pas dans notre plan d'examiner tour à tour les perfectionnements qui

(*) M. Stuart s'étant borné à décrire les machines construites en Angleterre, nous avons cru devoir compléter son histoire en parlant des principales machines importées ou perfectionnées en France, depuis 1815. Nous n'entrerons pas dans l'examen de tout les perfectionnements de détails apportés par chaque constructeur : cette description nous entraînerait beaucoup trop loin, et hors de notre objet, qui est d'exposer les différents systèmes d'après lesquels sont construites les machines employées en France. Ce chapitre sera terminé par quelques considérations générales sur la construction et l'emploi des différentes parties de ces machines, et sur leur application.

ont été faits dans la construction des régulateurs soupapes de sûreté, et autres parties accessoires de cette machine.

Quelques années après, deux autres constructeurs anglais établis à Paris, MM. Aitken et Steel, obtinrent un brevet d'invention pour divers modifications apportées à la machine de Woolfe. Ces modifications sont de deux espèces : l'une, qui a pour but d'économiser le combustible, est empruntée à *W. Brunton*. C'est un foyer fumivore, représenté ainsi que les tubes bouilleurs et la chaudière, fig. XLIV, pl. 6. *o o* sont deux tubes bouilleurs dans lesquels se forme la vapeur, qui passe ensuite par les conduits *p p* dans la chaudière *M*. Le foyer *V* est de forme circulaire, ainsi que la grille *u*, montée sur un axe vertical *x*, qui lui imprime un mouvement de rotation continu, mais lent, par le moyen de l'engrenage *y*, qui se rattache à l'axe du volant; *L*, trémie dans laquelle est versé le menu charbon; à la partie inférieure de cette trémie se trouve un rouleau de métal denté *z*, tournant sur son axe au moyen de rouages; il brise le charbon et le distribue uniformément sur la grille tournante, sans qu'on ait besoin de s'en occuper autrement que pour entretenir du charbon dans la trémie. Ce fourneau est appelé fumivore parce que la grande quantité de fumée qui est d'abord produite se trouve brûlée pendant son trajet à travers toute la largeur du fourneau. Le feu est d'ailleurs toujours égal, et n'est

point exposé aux refroidissements subits produits par l'introduction de l'air qui se précipite à travers la porte du foyer, que l'on ouvre pour jeter le charbon sur la grille, dans les autres constructions.

La seconde modification consiste dans l'addition d'un troisième cylindre, qui, selon les inventeurs, procurerait une augmentation de force. Les fig. XLII *B*, *A*, représentent, la première, le plan des trois cylindres et de leur enveloppe; la seconde, une coupe verticale de ces mêmes cylindres, les pistons étant supposés au bas de leur course. Dans cette figure, les tiges des pistons sont unies à une traverse horizontale *D* qui monte et descend parallèlement à elle-même entre des guides qui embrassent les galets *I*, *I*, elle communique le mouvement au volant par le moyen des bielles appliquées aux points *H*.

Dans cette figure, les soupapes enfilées *a*, *b*, *c*, *d*, distribuent, suivant leur position, la vapeur dans le bas ou dans le haut des cylindres *A*, *B*, *C*, ou lui font prendre le canal *i*, qui la conduit au condenseur; *e*, canal par lequel la vapeur est introduite dans la boîte; *f*, canal qui met en communication le bas du cylindre *A*, soit avec la boîte à vapeur, soit avec le haut des cylindres *A* et *B*; *g*, passage que suit la vapeur pour se rendre de la boîte dans le haut du cylindre *A*, et réciproquement de cette partie du cylindre dans le conduit *i*, qui mène au condenseur; *h*, conduit de communication de la

boîte à vapeur avec le haut du cylindre *B*, et réciproquement du haut du cylindre *B* avec le conduit *i*; *k*, communication de la boîte à vapeur avec le haut du cylindre *C*; *l* canal qui met en communication la boîte à vapeur avec le bas des cylindres *B* et *C*. Si l'on suppose les pistons au bas des cylindres comme dans la fig. XLII, *A*, la soupape *d* est élevée, et la soupape *c* est abaissée. Celle-ci empêche la vapeur d'arriver par le tuyau d'admission *e*; l'autre ne permet pas à la vapeur de s'écouler dans le condenseur par le conduit *i*. Le conduit *l* et le passage *k* étant ouverts, la vapeur qui se trouve en *C* au-dessus du piston se rend d'un côté dans le bas du même cylindre, et de l'autre au-dessous du grand piston en *B*. Les soupapes enfilées *a*, *b*, sont au même moment dans une position inverse, c'est-à-dire que l'abaissement de la soupape *a* permet à la vapeur qui se trouve au-dessus des pistons en *A* et *B* de s'écouler par les passages *g* et *h* et par le tuyau *i* dans le condenseur. Au contraire l'élévation de la soupape *b* permet à la vapeur qui arrive par *e* de se précipiter par le tuyau *f* au-dessous du petit piston en *A*. Le vide est donc formé au-dessus des pistons *A* et *B*, qui sont pressés en dessous par la vapeur. Quant au piston *C*, il est également pressé des deux côtés et entraîné par le mouvement d'ascension des deux autres pistons. Les trois pistons remontent à la fois. Dès qu'ils sont au haut de leur course, les

soupapes enfilées *a, b, c, d,* prenant une position inverse, la vapeur répandue dans le bas du cylindre *A* passe dans le haut de ce même cylindre, et du grand cylindre *B* par les conduits *f, g, h,* que les soupapes laissent ouverts; tandis que la vapeur qui remplissait le bas des cylindres *B, C,* s'écoule dans le condenseur par les conduits *l* et *i*, et que l'élévation de la soupape *c* permet à la vapeur qui arrive par *e* de passer par *k* dans le haut de *C*, ces pistons sont forcés à redescendre.

Nous n'entrerons pas ici dans l'examen des calculs au moyen desquels les inventeurs de la machine à trois cylindres prétendent établir que cette machine aurait une force supérieure de deux livres par pouce carré sur celle de Woolfe; nous ne chercherons pas davantage si cet excès de puissance n'est pas plus que compensé par la complication et le frottement qu'occasione l'emploi du troisième cylindre : nous nous contenterons d'avoir expliqué le mécanisme de cet appareil, et nous continuerons à exposer les perfectionnements apportés en France depuis quelques années à la machine à vapeur.

A l'époque où MM. Aitken et Steel obtinrent leur brevet, MM. Cordier et Casalis, anciens élèves de l'École des arts et métiers de Châlons, construisaient déjà des machines où la vapeur était employée à une haute température, mais avec des modifications que nous signalerons ici. Leur système, qui peut être considéré comme un perfectionnement

de celui de Trevithick, consiste à utiliser la détente de la vapeur et à ne l'employer que sur une des faces du piston. Ces machines à simple effet et haute pression peuvent être d'une grande utilité en raison du bas prix auquel on les établit, et du parti avantageux que l'on peut tirer de la vapeur qui s'échappe du cylindre lors de la descente du piston.

Cet appareil, d'ailleurs, n'offre rien de bien remarquable dans ses détails, si ce n'est que la tige du piston était articulée dans celui-ci de manière à pouvoir prendre une direction oblique. Cette disposition était plutôt un inconvénient qu'un perfectionnement, et a été changée depuis.

Nous ferons observer que, dans toutes les machines que nous avons décrites en dernier lieu, le régulateur ou les robinets distributeurs reçoivent les mouvements convenables par l'intermédiaire d'un excentrique qui a été substitué dans toutes les machines modernes aux roues d'engrenage ou d'angles, qui remplissaient le même office.

MACHINES A ROTATION DE STILES.

Une des machines modernes qui méritent le plus d'attirer l'attention des constructeurs est la roue à vapeur de M. Stiles, qui a été employée en Amérique, il y a peu d'années, pour faire mouvoir un vaisseau. Cette machine peu connue est d'une extrême simplicité, comme on le verra par la des-

cription que nous en donnons; elle est d'ailleurs la première machine rotative qui ait eue une application bien constatée et de quelque importance.

Cette machine se compose d'un cylindre dans lequel agit la vapeur; ce cylindre, dont le diamètre intérieur est de 1 mètre 50 centimètres, est immobile, et fermé par des plaques à ses deux extrémités; il est traversé par un axe ou arbre mobile aux deux extrémités duquel sont fixées les roues à aubes qui font marcher le bâtiment. Un second cylindre concentrique contenu dans le premier est attaché à l'arbre, de manière à ce que le cylindre intérieur et l'axe tournent ensemble. Ce cylindre est en outre garni de deux ailes courbes à charnières, susceptibles, quand elles se développent, de fermer entièrement le canal annulaire compris entre les deux cylindres. Ce canal ou intervalle entre les cylindres a 0^m152. Quand, au contraire, les ailes se replient, elles se logent dans des entailles faites exprès dans le cylindre intérieur, et les remplissent de manière à compléter exactement sa surface.

Un tuyau amène la vapeur de la chaudière dans le canal annulaire; un second la conduit de ce canal dans un réfrigérant.

Un massif placé entre les orifices de ces deux conduits bouche totalement le haut du canal annulaire, et oblige la vapeur à passer par la partie inférieure de ce canal. Ce massif fixé au cylindre

extérieur n'empêche point le cylindre intérieur de tourner.

Lorsqu'une des ailes est développée, et que la communication est établie entre la chaudière et le canal, la vapeur, agissant sur la surface concave de l'aile, fait tourner le cylindre intérieur, qui entraîne avec lui les roues à aubes. L'air et la vapeur qui se trouvent au-delà des ailes s'échappent par un tuyau dans le réfrigérant. Une des ailes est toujours développée quand l'autre parvient à l'orifice de ce tuyau : alors la vapeur comprise entre les deux ailes se dégage dans le condenseur ; l'aile qui vient de se développer mène à son tour ; l'autre rencontre bientôt deux pièces en forme de coin, placées auprès du massif, lesquelles la forcent à se replier pour occuper l'entaille du cylindre intérieur et passer aisément sous le massif.

On a fixé à chacune des ailes, perpendiculairement à la charnière, deux secteurs qui pénètrent dans le vide du cylindre intérieur, en traversant des mortaises garnies d'étoupes qu'ils remplissent toujours exactement. Aussitôt que les ailes sont dégagées du massif, les secteurs rencontrent des obstacles fixés aux plaques des bouts du cylindre extérieur. Ces obstacles, résistant aux secteurs, forcent les ailes à s'ouvrir. On peut changer la position de ces obstacles par le moyen de vis extérieures. La vapeur ne s'oppose point aux mouvements par lesquels les ailes s'ouvrent ou se replient, parce

que la tension est la même des deux côtés des ailes pendant ces mouvements.

Les frottements éprouveront une réduction sensible, si l'on a le soin de donner au canal annulaire un peu moins de largeur auprès du cylindre extérieur qu'auprès du cylindre intérieur, afin que les ailes soient légèrement trapézoïdales, et qu'à mesure qu'elles se replient, leurs garnitures soient moins comprimées. Les angles extérieurs des ailes sont un peu arrondis, et les plaques des bouts du cylindre conservent un petit filet qui détermine le passage du cylindre intérieur et soutient les garnitures placées entre des brides. Les ailes sont en cuivre.

La vapeur est employée à un assez haut degré de tension dans cette machine pour qu'elle puisse être considérée comme à haute pression, et agir sans condenseur : alors le tuyau qui conduit la vapeur au dehors traverse un réfrigérant, dont l'eau, quand elle est échauffée, est employée à remplacer dans la chaudière celle qui se réduit en vapeur.

Une petite pompe horizontale introduit dans le réfrigérant l'eau de la mer ou du puits ; lorsqu'elle est échauffée, elle est retirée par un autre corps de pompe et refoulée dans la chaudière.

La tension, qui devrait être de 5 atmosphères pour produire tout l'effet désiré, n'est cependant que de 3 à 4.

La longueur du cylindre est, entre les plaques, de $0^{m},482$. Le poids total de la machine est de

quatre à cinq tonneaux. Les roues ont près de 5 mètres de diamètre; chacune porte 12 aubes de 1^m80 de longueur sur 0^m 60 de hauteur. Les roues font environ dix-huit tours par minute.

Le foyer est alimenté avec du bois; on brûle en seize heures vingt-deux stères.

Cette machine est très simple, occupe peu de place; sa construction est économique. Le bateau qu'elle faisait mouvoir en 1817 gagnait de vitesse tous les vaisseaux américains mus par des machines à haute ou basse pression.

MACHINE A VAPEUR DE MANOURY D'ESCOT.

Cette machine est fondée sur le même principe que celle de Savery; mais elle en diffère 1° par un matelas d'air situé au-dessus du liquide, et sur lequel la vapeur agit immédiatement; 2° par le régulateur, qui est mis en mouvement par les variations de température qui se manifestent par l'introduction et la condensation de la vapeur.

La fig. XLV, pl. 6 représente la partie principale de cette machine; Q est un cylindre en cuivre laminé, terminé supérieurement et inférieurement par deux calottes sphériques : Manoury désignait ce cylindre sous le nom de *capacité motrice*. Sa partie inférieure communique avec un tuyau horizontal S, qui y est solidement fixé. A la partie inférieure de

ce tuyau se trouve le tuyau d'aspiration, et à sa partie supérieure, et à l'autre bout, le tuyau d'ascension *TP*, dans lequel l'eau du puits peut être refoulée jusqu'à la hauteur d'un dégorgeoir qui la verse dans une bâche. Le tuyau d'aspiration est garni d'une soupape *E*, et le tuyau de refoulement d'une soupape *f*.

La calotte hémisphérique qui termine supérieurement la *capacité motrice* est garnie de deux corps de pompe très courts, dont l'un *p* contient la soupape qui permet ou arrête l'introduction de la vapeur. Ce fluide s'int[illegible]t par un tuyau horizontal qui pénètre dans le cylindre *p* vers le milieu de sa hauteur. L'autre tuyau est percé inférieurement, comme le premier, d'une ouverture qui le fait communiquer avec la capacité motrice; mais cette ouverture est garnie de deux soupapes, l'une en dedans, l'autre en dehors. La première est mise en mouvement par la pression de la vapeur; la seconde, par une tige extérieure. Ces soupapes sont destinées à introduire de l'air dans la capacité motrice.

De la partie inférieure du tuyau ascensionnel part un petit tuyau *o*, qui pénètre, en se recourbant, dans l'axe de la capacité motrice, et s'y élève verticalement jusqu'aux cinq sixièmes de sa hauteur, où il se termine par une pomme d'arrosoir. Ce tuyau est garni en *g* d'une soupape qui s'ouvre par une pression dirigée de bas en haut. Immédiatement au-dessus de ce tuyau se trouve une plaque

X Y en cuivre, percée d'un grand nombre de trous.

Le reste de l'appareil se compose de tringles destinées à ouvrir et à fermer les soupapes. Nous ne les examinerons qu'après avoir décrit le jeu de la machine, en supposant jusque-là que l'on fait mouvoir isolément ces soupapes par un agent quelconque.

Supposons que la capacité motrice soit pleine d'air jusqu'aux cinq sixièmes de sa hauteur, et que le reste soit occupé par de l'eau à la température ordinaire. Si à cet instant on ouvre la soupape *p*, pour permettre l'introduction de la vapeur, la plaque *X Y* la répartira en une nappe horizontale qui repoussera le coussin d'air, et par conséquent l'eau qui est au-dessous; la soupape *f* s'ouvrira, et toute l'eau qui était renfermée dans la capacité motrice, ainsi qu'une partie de l'air, s'élèveront dans le tube ascensionnel.

Si, à l'instant où l'eau de la capacité motrice est évaquée, on arrête l'introduction de la vapeur, celle qui est renfermée dans la capacité motrice se condensera en partie par le refroidissement des enveloppes métalliques, et sa force élastique diminuera : alors la soupape *g*, qui est pressée extérieurement par une colonne d'eau qui s'élève jusqu'au dégorgeoir, et en dedans par la force élastique de la vapeur, s'ouvrira; l'eau froide s'élèvera dans le tube d'injection *e*, et jaillira par les ouvertures de

la pomme d'arrosoir. La vapeur se condensera : alors la soupape *E* s'ouvrira d'elle-même, et la capacité motrice se remplira d'eau. Si alors on ouvre la soupape *u*, pour introduire une certaine quantité d'air, et ensuite la soupape à vapeur, les circonstances seront les mêmes que celles que nous avons exposées d'abord, et le même jeu des soupapes produira successivement les mêmes phénomènes.

Reste maintenant à expliquer comment les différentes soupapes sont mises en mouvement par la machine elle-même. Dans presque toutes les machines à vapeur, c'est le mouvement de la tige du piston qui produit tous les autres mouvements nécessaires au jeu de ces machines. Dans celle de Manoury, c'est la différence de dilatation d'une tige de fer et d'un cylindre creux en cuivre qui est employée au même usage.

A la partie inférieure de la capacité motrice se trouve un cylindre de cuivre *M B*, fermé à sa partie supérieure, et dont la capacité intérieure communique avec une boîte *B c* placée horizontalement, fermée à sa partie inférieure, soudée à l'enveloppe de la capacité motrice, et ouverte en dehors. Ce cylindre et cette boîte forment par conséquent un canal courbé à angle droit, qui pénètre dans la capacité motrice, mais dont l'intérieur ne communique pas avec elle. A la partie supérieure du tuyau *M B* est fixée une tige de fer d'un diamètre un peu

plus petit que celui de ce tuyau. Elle porte inférieurement un petit piston qui s'appuie sur un levier mobile autour du point ou axe *e*; ce levier se recourbe extérieurement, s'élève, et se divise à son extrémité supérieure en deux branches très allongées, au milieu desquelles entre librement la tige *a b*. Vers le sommet, cette fourchette est garnie d'un crochet *x*, sur lequel s'appuie la cheville d'arrêt *y* du levier *a b*. La tringle *a b* est mobile autour du point *a'*; elle porte les tiges des soupapes à air et à vapeur. La soupape d'aspiration *E* peut se mouvoir comme un piston dans le cylindre ou tuyau d'aspiration *E*; elle est garnie d'une tige brisée à charnière ou d'un levier angulaire *i*, jouant autour du point *R*. Ce levier, en montant et descendant, communique à l'axe *R* un mouvement alternatif qui se transmet au bras de levier *R C*, fixé à l'autre bout de l'axe *R*; le bras de levier *R C*, tournant autour du point *R*, est terminé par une fourchette qui embrasse l'extrémité *C* de la tige verticale *c b*, qui est elle-même réunie par une articulation au levier *a b*. Vers l'extrémite inférieure de la tige *b c* se trouve une échancrure *z*, correspondante à une clavette qui traverse le levier *R C*.

Pour bien suivre le jeu de toutes les différentes parties de l'appareil, considérons la machine à l'instant où l'aspiration cesse. Aussitôt la soupape *E* retombe; l'extrémité *C* du bras de levier *R C* s'élève, et sa clavette, rencontrant l'échancrure de la tige *c b*, fait monter celle-ci. Le levier *a b* quitte

sa position horizontale, s'élève en tournant autour du point a', et détermine l'ouverture, d'abord, de la soupape à air supérieure, puis ensuite de la soupape à vapeur. Aussitôt que ce fluide arrive en abondance dans la capacité motrice, il presse contre la soupape à air inférieure et la maintient fermée par sa force élastique. La vapeur refoule l'eau dans le tuyau d'ascension; la soupape *E*, pressée par l'eau qui est chassée de la capacité motrice, achève de descendre aussi bas que possible, le levier *a b* prend son maximum d'inclinaison, et la vapeur entre avec abondance.

Avant l'introduction de la vapeur, le tube de cuivre *B M* étant plongé dans l'eau froide, sa contraction était aussi grande que possible : il en résultait un raccourcissement du tube et le rapprochement du point *M* de la base fixe *B*; par suite, la tige de fer intérieure, dont la contraction n'était pas aussi grande, sortait le plus possible du tube, agissait sur le levier courbe *D C*, qui prenait la position indiquée par des lignes pleines : alors la clavette *x* du levier *a b* soulevé reposait sur l'échancrure *y*. Ce point d'appui lui était indispensable, parce que, la soupape d'aspiration *E* étant arrivée au point le plus bas de sa course, la clavette *z* du levier *R c* ne se trouvait plus vis-à-vis l'échancrure de *a b*, et ne pouvait plus, par conséquent, soutenir ce levier *a b*; ainsi celui-ci n'était soutenu que par l'échancrure *y*.

Lorsque la vapeur a atteint le cylindre *M B*, elle se dilate, relève la tige de fer; celle-ci cesse d'agir sur le levier *D C*, qui, par conséquent, se dirige à droite, et prend la position indiquée par les lignes ponctuées. L'échancrure *y* quitte l'arrêt *x*, la tringle *C b* descend, le levier *a b* devient horizontal, et par conséquent les soupapes à air et à vapeur se ferment. La tige *C b* descend librement par son excès de poids, parce que, comme nous l'avons déjà dit, l'échancrure *t* ne se trouve plus vis-à-vis l'arrêt *z*. La condensation ne tarde pas à s'opérer; la soupape *E* remonte, poussée par la pression de l'air; l'eau afflue dans la capacité motrice; l'extrémité *c* du levier *R c* est au point le plus bas de sa course et ne soutient plus la tige *c b*; lorsque la capacité est pleine d'eau, la soupape *E'* retombe dans le corps de pompe, dans lequel elle se meut. Alors, son arrêt *z* se trouvant vis-à-vis l'échancrure *t*, elle soulève un peu la tringle *C b*, le levier *a b* s'incline, et les phénomènes détaillés plus haut se reproduisent successivement.

Cette ingénieuse machine est en activité depuis plusieurs années à l'abatoir de Grenelle, où elle est employée pour élever de l'eau dans un réservoir supérieur pour le service de cet établissement.

En 1819, une commission, composée de MM. Prony et Girard, fut chargée par l'Institut d'examiner cette machine. Le rapport est inséré dans le tom. 18 des *Annales de chimie et de physique*. Il

résulte des expériences faites par ces deux savants ingénieurs que cette machine élève, dans une durée de trente et une heures trente-huit secondes, 366,626 mètres cubes d'eau à une hauteur de 14^m et consomme 25,470 kilogrammes de charbon. En prenant pour unité dynamique un mètre cube d'eau élevé à un mètre de hauteur, l'effet utile est de 366,626 multiplié par 14, ou 5,152,761 unités dynamiques pendant trente et une heures trente-huit secondes, pour une consommation de 254 kilog. 70 de charbon; ou 162 unités par heure, avec une consommation de huit kilogrammes de charbon; ou enfin 20 unités dynamiques par heure, pour un kilogramme de charbon.

Cet effet est de beaucoup supérieur à ceux des autres machines à vapeur, à peu près de la même puissance, existantes dans les autres abatoirs; il est même supérieur à celui d'une machine de Woolfs établie à Paris sur le quai des Ormes, et destinée à élever l'eau de la Seine: car, pour un kilogramme de charbon de terre, elle ne produit que 18 unités dynamiques par heure.

MACHINE DE M. BRUNEL.

M. Brunel, ingénieur français établi en Angleterre, a eu récemment l'idée d'employer l'acide carbonique, à la place de la vapeur d'eau, pour faire mouvoir des machines. Voici en quoi consiste son appareil.

Il est formé de cinq cylindres placés verticalement et communiquant entre eux par des tubes. Le cylindre central, hermétiquement fermé par ses deux extrémités, renferme un piston dont la tige est destinée à communiquer le mouvement à l'appareil que la machine doit faire mouvoir; les deux cylindres qui sont placés de chaque côté communiquent, l'un avec la partie supérieure du premier, l'autre avec sa partie inférieure. Ces deux cylindres renferment aussi chacun un piston, mais il est sans tige : c'est sur ces pistons que s'exerce immédiatement la pression de la vapeur d'acide carbonique, et elle se transmet au piston du cylindre central au moyen d'une masse d'huile. Enfin les deux cylindres extrêmes, qui sont aussi exactement fermés par les deux extrémités, contiennent l'acide carbonique que l'on y a accumulé à l'aide d'une pompe foulante, et qui à la température de douze degrés y est liquide, mais environné de vapeurs qui exercent une pression de cent cinquante atmosphères. Ces cylindres extrêmes sont destinés à condenser et à vaporiser l'acide carbonique : par conséquent ils jouent, à la fois, le rôle de la chaudière et du condenseur dans les machines ordinaires. Pour que les variations de température, qui ne peuvent être provoquées que par un refroidissement ou un échauffement extérieur, se transmetent plus facilement à l'intérieur, M. Brunel les a disposés d'une manière particulière : chacun

de ces cylindres est formé de deux boîtes cylindriques communiquant entre elles par un grand nombre de tubes parallèles, et c'est dans l'espace qui sépare ces tubes que l'on produit les variations de température qui sont nécessaires au jeu de la machine, en y faisant successivement arriver de la vapeur d'eau et de l'eau froide.

En calculant la puissance mécanique de l'acide carbonique, M. Clément a trouvé qu'elle était un peu supérieure à celle de la vapeur d'eau : ainsi les machines à acide carbonique pourraient être supérieures à celles de vapeur d'eau. Mais il faudrait pour cela que le combustible pût être employé aussi avantageusement dans l'une que dans l'autre, et c'est ce qui n'existe pas dans la machine de M. Brunel : car à chaque coup de piston il faut refroidir et réchauffer cette masse métallique qui dans les cylindres extrêmes enveloppe l'acide carbonique, ce qui occasione une grande perte de chaleur et de temps ; mais dans le cas même où la chaleur pourrait être employée aussi utilement, cette machine présenterait toujours de grands inconvénients à cause de l'énorme pression de la vapeur. Elle ne présente qu'un seul avantage réel, c'est son petit volume. Il serait possible qu'il se rencontrât des circonstances dans lesquelles cet avantage fût assez important pour la faire préférer aux autres.

MACHINES A VAPEUR D'ALCOHOL, D'ÉTHER, D'ESSENCE DE TÉRÉBENTHINE ET DE MERCURE.

Toutes ces machines, dont on n'a fait jusque ici que quelques essais, ne sont susceptibles de développer pour la même quantité de combustible qu'une puissance mécanique peu différente de celle que l'on peut obtenir avec la vapeur d'eau, à l'exception du mercure, dont la puissance mécanique est presque double. Ces machines seraient cependant toutes moins avantageuses que les machines à vapeur d'eau, parce que la condensation devrait avoir lieu extérieurement, ce qui augmente beaucoup la durée du refroidissement et diminue la vitesse des mouvements alternatifs. De plus, les pertes de vapeur qu'il est impossible d'éviter compenseraient et au-delà tous les avantages que des calculs purement théoriques auraient pu promettre.

On a aussi essayé la dilatation de l'air, la combustion d'un mélange d'air et de la poudre de lycopode, d'air et d'hydrogène, d'air et d'hydrogène carboné, la dilatation de l'eau, celle des métaux; mais tous ces essais ont été infructueux. La théorie indique d'ailleurs que par ces différents moyens le combustible serait employé moins utilement que par la vapeur d'eau.

Il résulte de là que les meilleurs machines, du moins jusque ici, sont les machines à vapeur d'eau.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES MACHINES A VAPEUR,

Après avoir décrit les meilleurs systèmes de machines à vapeur en usage en France, nous croyons utile d'entrer dans quelques considérations générales sur les différentes parties de ces machines, d'indiquer quels sont les dangers réels auxquels on est exposé de leur part, et les précautions qui nous paraissent les plus propres à s'en garantir; nous examinerons aussi, mais brièvement, la supériorité relative de ces diverses espèces de machines et la meilleure application que l'on peut en faire.

DES FOURNEAUX.

On ne saurait rien indiquer de bien précis et de bien général sur la forme à donner aux fourneaux; elle dépend d'ailleurs de celle de la chaudière. Ce que l'on doit se proposer dans leur construction, c'est que, d'une part, le foyer reçoive assez d'air pour fournir tout l'oxygène nécessaire à la combustion, et que l'on ne perde pas en fumée une partie des principes inflammables; et de l'autre, que lè cheminée soit calculée de manière à favoriser la tirage, pour que l'air ne manque jamais et que la fumée s'échappe promptement. L'on verra dans l'instruction du ministre de l'intérieur quels sont

les principes d'après lesquels on doit diriger le chauffage. Quant au premier point, on calculera la quantité de combustible à brûler d'après la quantité et la tension de la vapeur que l'on veut obtenir dans un temps donné. La chimie donne d'une manière assez précise le volume d'air nécessaire pour brûler une quantité connue d'un combustible quelconque. On établira donc la largeur de la porte du cendrier d'après ces calculs approximatifs, et en ayant égard à la surface de la chauffe. Les moyens de remédier à la fumée sont un peu plus précis. Nous avons décrit, en parlant de la machine Atkin et Steel, l'appareil fumivore de l'invention de Brunton. Cet appareil peut être encore modifié par l'addition d'un ventilateur qui a pour objet de projeter au loin dans le fourneau le charbon en poussière qui s'échappe des cylindres cannelés, ce qui dispenserait de la nécessité d'employer une grille tournante. L'on évalue l'économie du combustible obtenue par ce moyen à vingt ou vingt-cinq pour cent. On a encore proposé de faire arriver derrière la grille, par les côtés, de l'air destiné à achever la combustion de la fumée.

M. Clément propose de rompre le courant de l'air échauffé autour de la chaudière par des briques placées en saillie de manière à rétrécir le passage et à déterminer, par des changements de direction répétés, le mélange des diverses couches d'air. Ce procédé est basé sur ce que la couche

d'air en contact avec la chaudière lui cède d'abord sa chaleur, se refroidit, et pendant le reste du trajet est interposée entre la chaudière et les autres couches d'air plus chaudes.

Enfin l'on obtiendra de bons effets de l'emploi de la plaque ou registre glissant dans une coulisse destinée à fermer la cheminée à volonté, que nous avons décrite plus haut. Elle est surtout très utile lorsque l'on veut arrêter le feu en prévenant un refroidissement subit.

DES CHAUDIÈRES.

Les chaudières qui ont été employées jusque ici sont en cuivre, en tôle clouée, et en fonte de fer.

Les meilleures, et celles qui sont réellement les plus économiques, sont les chaudières en cuivre, parce que ce métal, quoique plus cher, conserve une grande valeur intrinsèque, tandis que le fer en tôle ou coulé en conserve très peu; d'ailleurs les chaudières de cuivre sont moins altérées par le feu que les chaudières de fer, et ne peuvent point se casser comme les chaudières de fonte.

Les formes que l'on donne aux chaudières sont très variées. Elles sont à peu près arbitraires quand la vapeur ne doit acquérir qu'une force élastique peu considérable; mais quand la vapeur doit se former sous de grandes pressions, il est important que les chaudières ne puissent pas se défor-

mer, et pour cela il faut donner aux chaudières la forme qu'elles prendraient si, ayant une forme quelconque, elles éprouvaient intérieurement une grande pression. La forme qui serait la plus convenable serait la forme sphérique, mais elle serait souvent gênante. On leur donne ordinairement la forme de cylindres alongés à base circulaire et fermés par des portions de sphère, qui présentent une grande résistance à un changement de figure.

Les chaudières, quels que soient d'ailleurs leur forme, leur grandeur et le métal dont elles sont composées, s'altèrent par le feu d'autant plus facilement qu'elles sont plus épaisses : en effet, la surface extérieure du métal exposée à la flamme est à une température d'autant plus élevée au-dessus de celle de la surface intérieure qui est en contact avec l'eau que l'épaisseur du métal est plus grande; il résulte de cette différence de température une différence de dilatation, et, par suite, des fissures, des crevasses ou une oxidation. Ainsi il ne faut jamais donner aux chaudières une trop grande épaisseur : car, outre l'excès de dépense de premier établissement, outre l'altération plus prompte de la chaudière, il y a encore augmentation dans la dépense du combustible, parce qu'une même surface extérieure, dans le même temps et pour la même quantité de combustible, ne laisse passer dans l'intérieur qu'une plus petite quantité de chaleur.

On place souvent sous les chaudières des tubes

d'un plus petit diamètre, qui communiquent avec elles et qui descendent jusque dans le foyer : ces tubes portent le nom de bouilleurs. Ils sont ordinairement en fonte. Ces tubes n'ont que le seul avantage d'augmenter la surface de la chaudière, et ils ont le grand inconvénient de se briser facilement quand ils sont en fonte. Quand on est maître de l'emplacement, il vaut toujours mieux donner aux chaudières des dimensions suffisantes et ne point employer de tubes bouilleurs : ce n'est que dans des espaces très circonscrits qu'ils peuvent devenir utiles, en permettant d'offrir à la flamme une grande surface sous un petit volume.

La capacité des chaudières est tout-à-fait sans influence sur la quantité de vapeur qu'elles peuvent produire. Les seuls éléments qui la détermineront sont la quantité de combustible brûlée, et l'étendue de la surface de la chaudière. On compte ordinairement qu'un mètre carré de surface de chauffe produit de vingt à trente kilogrammes de vapeur par heure, avec une consommation de six à sept kilogrammes de charbon.

MM. Vernet et Gauvin ont pris récemment un brevet d'invention *pour un moyen d'obtenir la vapeur sans ébullition et sans danger, avec une grande réduction de volume, de poids et de frais.* Cet appareil est composé de deux ou d'un plus grand nombre de tuyaux de fonte communiquant entre eux, exposés à la flamme d'un foyer, main-

tenus à une haute température, et dans lesquels on introduit successivement de l'eau qui est immédiatement réduite en vapeur, de sorte que l'eau à l'état liquide ne séjourne presque pas dans cet appareil. Les cylindres ont 162 centimètres de longueur, 16 de diamètre, et 2,75 d'épaisseur.

Cet appareil ne pourrait pas évidemment donner lieu à une explosion, à cause de la petite quantité d'eau qu'il renferme. Mais il est impossible qu'il soit économique : car l'emploi utile d'un combustible est, toutes choses égales d'ailleurs, en raison inverse de la température que doit acquérir le corps qui est chauffé, parce que la température de l'air qui s'échappe par la cheminée est toujours un peu supérieure à celle du corps échauffé, et que la chaleur emportée par le courant d'air est en pure perte. La chaleur dégagée d'un combustible est employée bien plus avantageusement pour chauffer de l'eau jusqu'à 30° que pour la porter à l'ébullition, et bien plus dans ce dernier cas que si elle devait être portée à 200°, ou que si elle devait entretenir de la fonte de fer à une température rouge. Mais il se passe encore dans cet appareil un phénomène fort singulier, qui a été observé pour la première fois par M. Perkins, et qui ralentit beaucoup la formation de la vapeur, quoique l'eau d'injection soit en contact avec le métal presque incandescent : c'est que l'eau ne mouille pas le métal très chaud; il se forme entre l'eau et le métal

une couche mince de vapeur qui empêche le contact immédiat, et arrête du moins en grande partie la communication de la chaleur. C'est ce que l'on peut observer sur une barre de fer rouge sur laquelle on jette quelques gouttes d'eau : la vaporisation est extrêmement lente, et on peut les faire rouler comme du mercure sur du bois, ou des gouttes d'eau dans de la poussière; mais si en frappant brusquement les gouttes d'eau on établit le contact du métal et du liquide, alors l'évaporation est presque instantanée. Le même effet a lieu par le refroidissement de la barre : la goutte s'aplatit, et se dissipe rapidement. Ainsi une température très élevée n'est point aussi favorable que l'on serait tenté de le croire pour la prompte formation de la vapeur.

APPAREILS DE SURETÉ POUR LES CHAUDIÈRES.

Les appareils de sûreté consistent en soupapes pressées par un poids équivalent à la force élastique qu'acquerrait la vapeur à une température que l'on ne veut pas dépasser. Lorsque, par un trop grand coup de feu, ou par une trop grande augmentation de la résistance que doit vaincre la machine, et qui en diminue la vitesse, ou par toute autre cause qui diminue la consommation de la vapeur, la température de celle de la chaudière augmente, aussitôt qu'elle a atteint la limite d'après

laquelle on a déterminé le poids des soupapes, ces dernières se soulèvent, et livrent passage à la vapeur, qui par conséquent ne peut plus s'accumuler, ni augmenter de force élastique.

En France, une ordonnance avait enjoint aux fabricants de machines à vapeur, outre les soupapes de sûreté, d'appliquer contre un orifice pratiqué dans la chaudière une plaque d'alliage fusible à la température qui ne devait pas être dépassée, et les chaudières devaient être essayées sous une pression triple de celle qu'elles devaient supporter; cet essai devait se faire en les remplissant d'eau, triplant la pression des soupapes, et comprimant l'eau, par l'introduction d'une nouvelle quantité, à l'aide d'une pompe foulante, jusqu'à ce que les soupapes se soulevassent.

Ces précautions ne sont point suffisantes pour que l'on soit assuré d'être à l'abri des explosions. En effet, la tenacité d'un métal diminuant à mesure que sa température s'élève davantage, une expérience à froid ne peut rien prouver relativement à la résistance à une température élevée, à moins que la pression ne soit augmentée dans le rapport inverse de la résistance du métal. Or aucunes expériences n'ont encore été faites sur la diminution de tenacité des métaux à mesure que la température augmente.

Les plaques fusibles se ramollissent à une température de beaucoup inférieure à celle de leur fusion, elles se gonflent comme une vessie, et se dé-

chirent sous une pression beaucoup plus faible que celle que l'on voudrait atteindre. Pour que leur emploi fût réellement utile, il faudrait que la température de leur fusion fût beaucoup plus élevée, et que leur épaisseur fût plus grande; mais ces quantités dépendraient de leurs dimensions, et seraient assez difficiles à déterminer par l'expérience. Les plaques fusibles présentent un autre inconvénient très grave : c'est qu'elles se recouvrent souvent à l'intérieur d'une croûte dure composée des matières déposées par l'eau, qui empêche leur échauffement.

Les soupapes de sûreté présentent des inconvénients beaucoup plus graves encore : suivant leur forme et leurs dispositions, elles sont souvent d'une inutilité complète. Comme ce fait est d'une grande importance, nous lui donnerons quelques développements.

L'année dernière, MM. Thénard et Clément se trouvant dans une grande usine de machines à vapeur des environs de Liége, l'ingénieur chargé de la direction des travaux leur fit voir le phénomène singulier que nous allons décrire. Il découvrit un orifice percé dans un grand tuyau qui conduisait l'air d'une puissante machine soufflante. Aussitôt, comme on devait s'y attendre, l'air en sortit avec une grande vitesse. Alors, en appliquant une planche perpendiculairement contre le courant et la rapprochant avec effort de l'ouverture, il

arrivait que, quand la planche était amenée à une petite distance de l'ouverture, non seulement il ne fallait plus employer de force pour la maintenir, mais elle ne pouvait être arrachée de cette position que par un effort assez grand. M. Clément pensa qu'un courant de vapeur devait présenter le même phénomène. Il fit à ce sujet des expériences nombreuses, d'où l'on peut déduire ce fait général : Toutes les fois qu'un courant de vapeur sort par un canal qui va en s'élargissant, il se forme un vide à l'origine du tuyau, et par conséquent les parties de ce tuyau situées à l'origine d'écoulement sont pressées par l'air, de dehors en dedans.

Par exemple, si de la vapeur sortait par un tuyau terminé par un large rebord, et que pendant l'écoulement on approchât parallèlement un disque métallique, lorsqu'il serait arrivé à une petite distance des rebords du tuyau, l'écoulement aurait lieu dans un espace cylindrique du centre à la circonférence, espace qui est évidemment plus grand à la circonférence que vers le centre. Par conséquent la pression de l'air, s'exerçant sur la surface extérieure du disque, le maintiendrait à sa place, et s'opposerait à ce qu'il s'écartât davantage du bord du canal.

Toutes les soupapes de sûreté qui sont coniques sont dans le cas du tuyau fermé par un disque, de même que toutes celles qui sont formées d'une

simple plaque : car toutes les fois qu'elles ont été faiblement soulevées, l'espace que parcourt la vapeur pour sortir va en grandissant. Ainsi, lorsque ces soupapes donnent issue à un faible courant de vapeur, ce courant développe lui-même une nouvelle force qui s'oppose à ce que la soupape se soulève davantage.

Ainsi, toutes les soupapes coniques et celles qui sont formées d'une simple plaque qui s'appuie sur les rebords d'un tuyau, ne sont réellement point des soupapes de sûreté.

Les seules espèces de soupape sur lesquelles il ne se développe point de pression par l'écoulement d'un petit courant de vapeur, et qui peuvent s'ouvrir entièrement lorsque la pression de la vapeur devient suffisante pour produire cet effet, sont les soupapes formées d'un piston qui s'engage dans un petit corps de pompe cylindrique garni latéralement d'un tuyau d'écoulement, et celles qui sont formées d'une calotte renversée sur les bords de l'ouverture d'un tuyau vertical. Ce sont par conséquent les seules que l'on doit désormais employer. La fig. XLVI représente une soupape à piston qui paraît offrir une partie des avantages désirés. *A* est un piston entrant exactement dans le cylindre *B*; *C*, tige du piston enfilée dans un double ressort à boudin *D*, qui maintient le piston au fond de son corps de pompe; *E*, ouvertures pratiquées au-dessus de la partie inférieure du corps de pompe,

par où s'échappe la vapeur lorsqu'elle est assez forte pour élever le piston au-dessus des ouvertures ; *F*, tuyau par lequel sort la vapeur après avoir passé par les ouvertures *E*.

Mais, de toutes les dispositions pour prévenir les explosions, celle qui paraît la meilleure consiste en une plaque de cuivre beaucoup plus mince que la chaudière, que l'on applique, à l'aide de brides à écroux, sur une ouverture pratiquée à la chaudière. La grandeur et l'épaisseur de cette plaque doivent être déterminées par l'expérience, de manière à ce qu'elle se brise à la température que l'on ne veut pas dépasser.

Le manomètre est encore un appareil qui, s'il était construit avec soin, et surveillé exactement par les chauffeurs, mettrait complétement à l'abri des explosions. Cet appareil consiste en un siphon de verre renversé, dont la branche la plus courte communique avec la chaudière, l'autre avec l'air, et qui renferme du mercure. La différence du niveau dans les deux branches indique à chaque instant la pression de la vapeur dans la chaudière: par conséquent, si le chauffeur consultait continuellement cet instrument, il pourrait diriger son feu de manière à maintenir la pression de la vapeur à peu près constante, et les explosions ne seraient plus possibles.

Cet appareil est facile à construire pour les chau-

dières qui ne doivent donner la vapeur qu'à une pression peu considérable.

La fig. XLVII représente cet appareil. *A* est un tube en métal communiquant avec la chaudière; *B C D E* est un tube de verre ouvert par les deux bouts, dont l'extrémité *B* est scellée dans le tube *A*. La partie *B D* renferme une boule *C*; la boule et une partie du tube renferment du mercure. Quand le mercure est au même niveau dans la boule et dans le tube *D E*, la pression de la vapeur est évidemment égale à la pression de l'air, et quand cette égalité cesse, la différence des niveaux donne une mesure très exacte de la différence des pressions. Si la boule est très large relativement au diamètre du tube *D E*, on pourra regarder le niveau dans la boule comme sensiblement constant, et en plaçant contre la branche du tube *D E* une échelle graduée en pouces ou en centimètres, à partir du niveau du métal dans la boule, où l'on écrirait vingt-huit pouces ou soixante-seize centimètres, on pourra lire immédiatement sur l'échelle la force élastique de la vapeur.

Mais quand la vapeur doit acquérir dans la chaudière une tension de plusieurs atmosphères, cette disposition ne devient plus praticable, parce qu'il faudrait donner au tube *D E* une trop grande élévation; il devrait avoir autant de fois vingt-huit

pouces que l'instrument devrait indiquer de pressions atmosphériques moins une.

Alors, pour conserver à l'instrument des dimensions commodes, on ferme l'extrémité *E* du tube; l'air qu'il contient ne pouvant s'échapper, à mesure que le mercure s'élève dans ce tube, il en résulte que, quand le mercure est au point *m*, la force élastique de la vapeur est égale au poids d'une colonne de mercure qui aurait pour hauteur la distance des niveaux dans la boule *C* et dans le tube *DE*, plus la force élastique de l'air renfermé de *m* en *E*. Or cette dernière s'obtient très facilement quand le tube *E D* est parfaitement cylindrique, et que l'on connaît sa longueur à partir du point où la densité de l'air est égale à celle de l'atmosphère. Ce dernier point est celui où le mercure est de niveau dans les deux tubes, quand l'extrémité *B* du tube recourbé est ouverte. En effet, d'après la loi de Mariotte, les forces élastiques d'un même volume de gaz, sous différents états de compression, sont en raison inverse des volumes : par conséquent la force élastique de l'air renfermé en *E m* est à celle qu'il avait lorsqu'il occupait la longueur *E n* du tube comme *E n* est à *E m*. Comme on peut facilement mesurer ces dernières quantités, on déterminera facilement la force élastique de l'air comprimé; et, en y ajoutant la différence de niveau du mercure, on aura la tension de la vapeur.

Supposons, par exemple, que la longueur du tube $E\,n$ soit de 50 centimètres, et que celle de la distance $n\,m$ soit de 20 : la force du gaz opprimé sera égale à $0^{m}76$, pression ordinaire de l'atmosphère multipliée par $\frac{50}{30}$ ou par $\frac{5}{3}$, c'est-à-dire à $1^{m},87$; et, comme la différence de hauteur du mercure est de 20 centimètres, la pression totale de la vapeur sera de $2^{m},07$. Si on voulait savoir à combien d'atmosphères cette pression équivaut, il faudrait la diviser par $0^{m},76$, ce qui donnerait $2^{at},76$. Si on voulait graduer le tube en atmosphères, on y parviendrait facilement au moyen de la formule insérée dans la note ci-jointe (1).

Nous terminerons cet examen des différentes

(1) Soit a la longueur du tube, b la hauteur du mercure au-dessus du niveau de ce métal dans la cuvette, et x la force élastique de la vapeur, on a évidemment

$$x = b + 0{,}76\left(\frac{a}{a-b}\right) \quad (A)$$

et en résolvant l'équation par rapport à b, il viendra

$$b = \frac{a+x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a+x}{2}\right)^2 + a\,(0{,}76 - x)} \quad (B)$$

L'équation (A) pourra servir à déterminer x, quand a et b seront connus, et en substituant, dans l'équation (B), pour x, successivement $0{,}76+2+0{,}76$, $+3+0{,}76$, etc., les valeurs de b correspondantes seront les points du tubes qui correspondront à une pression de la vapeur de 2, 3, 4, etc. atmosphères.

parties des machines à vapeur en général par la description des appareils alimentaires de machines à haute et basse pression, représentée pl. 6, fig. XLVIII et XLIX.

L'appareil destiné à alimenter d'eau une chaudière à basse pression se compose d'un tuyau en fer *B*, plongeant par sa partie inférieure dans l'eau de la chaudière *A*, et portant à sa partie supérieure un réservoir *B* ; ce petit réservoir communique avec le tuyau par une ouverture fermée par un tampon *C* ; la tige de ce tampon est attachée au levier *G*, auquel est suspendu le flotteur *E*. Lorsque le niveau de l'eau de la chaudière baisse, le flotteur *E* descend en entraînant après lui l'extrémité du levier, qui soulève alors le tampon, et permet à l'eau du petit réservoir *B* de descendre dans le tuyau *B*, et de ramener le niveau de l'eau à son point primitif. Un flotteur suspendu à une chaîne passe par le milieu du réservoir. Cette chaîne va par l'intermédiaire des poulies *F* s'attacher au registre du fourneau.

Lorsque la vapeur, augmentant de tension, soulève l'eau et le flotteur du tuyau *B*, le registre se ferme plus ou moins, comme nous l'avons expliqué plus haut.

La pompe alimentaire d'une machine à haute pression se compose d'un corps de pompe *a* ; une tige cylindrique *b* y fait les fonctions d'un piston solide ; *c* est un tuyau horizontal servant pour l'eau

aspirée par la soupape *d* et pour l'eau refoulée par la soupape *e* ; *f* est un étrier avec vis de pression pour fermer et ouvrir la chapelle des soupapes, suivant le besoin ; *g*, tuyau communiquant avec la chaudière à vapeur, et portant un robinet *h* pour régler la quantité d'eau qu'on veut admettre dans la chaudière.

Lorsque l'on tire la tige *b*, le vide se produit dans le corps de pompe *a*, et la soupape *d* se soulève pour laisser passer l'eau d'aspiration ; la soupape *e* se ferme ; lorsque la tige *b* descend, l'eau des corps de pompe est refoulée dans le tuyau *c*, et la soupape *d* se ferme à son tour, tandis que la soupape *e* se soulève pour laisser passer l'eau dans le tuyau de communication *g*.

OBSERVATIONS SUR LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE MACHINES A VAPEUR.

Les machines à vapeur peuvent se diviser en trois groupes.

1° Les machines de Savery,

2° Les machines à pistons et à mouvements alternatifs,

3° Les machines à piston et à mouvements rotatifs.

1° Les machines de Savery, et toutes celles qui sont fondées sur le même système, ne peuvent être employées qu'à élever l'eau, car leur action est in-

termittente. Lorsque la condensation a lieu par injection intérieure, et que la hauteur à laquelle l'eau doit être élevée est peu considérable, ces machines présentent de l'avantage sur les autres.

2° Les machines à mouvements alternatifs peuvent être à basse, à moyenne ou à haute pression; la vapeur peut y être employée avec ou sans détente; enfin elles peuvent être avec ou sans condenseur.

L'influence d'une haute pression sur l'effet mécanique produit par une même quantité de combustible est beaucoup moins considérable qu'on ne le croirait, parce que la densité de la vapeur augmente en même temps que sa force élastique, et qu'il faut toujours la même quantité de charbon pour former 1^{k} de vapeur, quelle que soit d'ailleurs sa tension. Les machines à haute pression ne sont réellement avantageuses que quand la vapeur doit être dilatée dans son action, ou quand on ne peut pas employer de condenseur, comme dans les machines qu'on place sur les voitures.

L'influence de la détente est très grande sous le rapport de l'effet produit, car la force élastique que conserve la vapeur quand elle cesse d'agir est complétement perdue : par conséquent il est important de ne lui en laisser que la plus petite quantité possible. Les machines à détente ne diffèrent des machines ordinaires qu'en ce que l'introduc-

tion de la vapeur est suspendue avant que le piston n'ait achevé sa course. Quand la machine n'a qu'un seul cylindre, l'usage de la détente est accompagné d'un inconvénient qui en proscrit l'usage dans un grand nombre de cas. La force d'impulsion va en diminuant à partir de l'instant où la détente a lieu : par conséquent le levier qui reçoit l'impulsion, et tout l'appareil auquel il la communique, ne reçoit pas une vitesse constante. Cet inconvénient est sans importance lorsqu'il s'agit d'épuiser une mine; mais il ne serait pas tolérable dans une machine destinée à moudre du blé ou à faire mouvoir les différents appareils d'une filature, parce que, dans ces derniers appareils, l'uniformité du mouvement est une condition de première nécessité. Dans les machines à deux cylindres, la détente se fait ordinairement dans un seul, et, comme les deux pistons se meuvent ensemble, et sont appliqués à la même extrémité du levier, cet inconvénient n'a plus lieu.

Quant au condenseur, il est toujours utile, car la condensation de la vapeur qui agit sur une des faces du piston accroît d'autant la force de celle qui afflue sur l'autre face. Cependant l'influence de la condensation est d'autant plus petite que la vapeur employée est à une plus haute température. Par exemple, si la vapeur était à une tension d'une atmosphère et demie, et si, au lieu de condenser celle qui a cessé d'agir, on la laissait

seulement s'échapper dans l'air, l'effet de la vapeur agissant sur l'autre face du piston serait seulement d'un demi-atmosphère ; tandis que, si l'on condensait, l'effet qu'elle produirait serait sensiblement d'un atmosphère et demi ; mais si la vapeur était à 5 atmosphères, l'absence de la condensation réduirait son action effective à 4 atmosphères. En général l'effet se trouve toujours réduit d'un atmosphère lorsque l'on ne condense pas. Les machines sans condenseur sont cependant souvent employées, soit pour simplifier la machine, soit parce que l'on n'a point d'eau à sa disposition. Mais alors la vapeur est toujours employée à une haute pression.

3° Quant aux machines rotatives, elles sont très peu employées.

La quantité d'effet produit avec la même quantité de combustible varie beaucoup dans les différents systèmes de machines à vapeur, et même dans les différentes machines construites suivant le même principe, suivant qu'elles sont plus ou moins bien construites et plus ou moins bien dirigées. Nous rapporterons ici un tableau des effets produits par les différents systèmes de machines à vapeur, qui a été donné par M. Clément dans son cours.

Dans ce tableau, l'unité d'effet dynamique est égale à un mètre cube d'eau élevé à la hauteur d'un mètre.

EFFETS PRODUITS PAR DIVERSES MACHINES A VAPEUR POUR UN KILOGRAMME DE HOUILLE.

Petites machines de Savery	. . . . de.	7 à 20
Machines de Newcomen et de Watt et Bolton.	Petites machines. . de	16 à 30
	Machines de 10 à 40 chevaux.	53 à 76
Machines de Woolfe, de Hall, Edward, etc. Système de Hornblower.	de.	78 à 100
Grandes machines de Prince, de Neath-Abbey.	de.	100 à 160

On voit, d'après cela, qu'il y a une grande différence entre les effets utiles du combustible dans les machines à vapeur ; mais cet élément n'est pas le seul qui doit décider la préférence qu'on accordera à une machine : les frais d'établissement, la probabilité des dérangements plus ou moins fréquents, qui occasionent des suspensions de travaux plus ou moins onéreuses, enfin l'uniformité plus ou moins grande du mouvement, sont encore des considérations qui, dans certaines circonstances, sont plus importantes que la première.

ORDONNANCE ROYALE

CONCERNANT LES MACHINES A VAPEUR A HAUTE PRESSION, SUIVIE D'UNE INSTRUCTION ET D'UNE CIRCULAIRE SUR LES MÊMES MACHINES.

Ordonnance du Roi portant règlement sur les machines à vapeur à haute pression.

Louis, etc., etc., etc.;

Sus le rapport de notre Ministre Secrétaire d'État au département de l'intérieur;

Notre Conseil d'État entendu;

Nous avons ordonné et ordonnons ce qui suit :

Art. Ier. Les machines à feu à haute pression, ou celles dans lesquelles la force élastique de la vapeur fait équilibre à plus de deux atmosphères, lors même qu'elles brûleraient complétement leur fumée, ne pourront être établies qu'en vertu d'une autorisation obtenue conformément au décret du 15 octobre 1810, pour les établissements de deuxième classe.

Elles seront, en outre, soumises aux conditions de sûreté suivantes.

Art. II. Lors de la demande en autorisation, les chefs d'établissements seront tenus de déclarer à quel degré de pression habituelle leurs machines devront agir.

Ils ne pourront dépasser le degré de pression déclaré par eux.

La pression sera évaluée en unités d'atmosphère, ou en kilogrammes par centimètre carré de surface exposé à la pression de la vapeur.

ART. III. Les chaudières des machines à haute pression ne pourront être mises dans le commerce, ni employées dans un établissement, sans que, préalablement, leur force ait été soumise à l'épreuve de la presse hydraulique.

Toute chaudière devra subir une pression d'épreuve cinq fois plus forte que celle qu'elle est appelée à supporter dans l'exercice habituel de la machine à laquelle elle est destinée.

Après l'épreuve, et pour en constater le résultat, chaque chaudière sera frappée d'une marque indiquant, en chiffres, le degré de pression pour lequel elle aura été construite.

Les chefs d'établissements ne pourront faire emploi d'une chaudière qu'autant qu'elle sera marquée d'un chiffre exprimant au moins une force égale au degré de pression annoncé dans leur déclaration.

ART. IV. Il sera adapté deux soupapes, une à chaque extrémité de la partie supérieure de chaque chaudière. Leur dimension et leur charge seront égales, et devront être réglées tant sur la grandeur de la chaudière que sur le degré de pression porté sur son numéro de marque, de telle sorte toutefois que le jeu d'une seule des soupapes suffise au dégagement de la vapeur, dans le cas où elle acquerrait une trop grande tension.

La première soupape restera à la disposition de l'ouvrier qui dirige le chauffage ou le jeu de la machine.

La seconde soupape devra être hors de son atteinte et recouverte d'une grille dont la clef restera à la disposition du chef de l'établissement.

Art. V. Il sera en outre adapté à la partie supérieure de chaque chaudière deux rondelles métalliques, fusibles aux degrés ci-après déterminés.

La première, d'un diamètre au moins égal à celui d'une des soupapes, sera faite en métal dont l'alliage soit de nature à se fondre ou à se ramollir suffisamment pour s'ouvrir à un degré de chaleur supérieur de dix degrés centigrades au degré de chaleur représenté par la marque que doit porter la chaudière.

La seconde, d'un diamètre double de celui ci-dessus, sera placée près de la soupape de sûreté et enfermée sous la même grille. Elle sera faite en métal dont l'alliage soit de nature à se fondre c . à se ramollir suffisamment pour s'ouvrir à un degré de chaleur supérieur de vingt degrés centigrades à celui que représente la marque de la chaudière.

Ces rondelles seront timbrées d'une marque annonçant en chiffres le degré de chaleur auquel elles sont fusibles.

Art. VI. Une chaudière ne pourra être placée que dans un local d'une dimension au moins égale à vingt-sept fois son cube.

Ce local devra être éclairé au moins sur deux de ses côtés par de larges baies de croisées, fermées de châssis légers et ouvrant en dehors. Il ne pourra être contigu aux murs mitoyens avec les maisons voisines, et devra toujours être séparé, à la distance de deux mètres, par un mur d'un mètre d'épaisseur au moins. Il devra aussi être séparé par

un mur de même épaisseur de tout atelier intérieur. Il ne pourra exister d'habitation ni d'atelier au-dessus de ce local.

Art. VII. Les ingénieurs des mines, dans les départements où ils sont en résidence, et, à leur défaut, les ingénieurs des ponts et chaussées, sont chargés de surveiller les épreuves des chaudières et des rondelles métalliques. Ils les frapperont des marques dont les timbres leur seront remis à cet effet.

Lesdits ingénieurs s'assureront, dans leurs tournées, au moins une fois par an, que toutes les conditions prescrites sont rigoureusement observées. Ils visiteront les chaudières, constateront leur état, et provoqueront la réforme de celles que le long usage ou une détérioration accidentelle leur ferait regarder comme dangereuses.

Les autorités chargées de la police locale exerceront une surveillance habituelle sur les établissements pourvus de machines à haute pression.

En cas de contraventions aux dispositions de la présente ordonnance, les chefs d'établissements pourront encourir l'interdiction de leurs établissements, sans préjudice des peines, dommages et intérêts qui seraient prononcés par les tribunaux.

Art. VIII. Notre ministre secrétaire d'état au département de l'intérieur fera publier une instruction sur les mesures de précaution habituelles à observer dans l'emploi des machines à haute pression.

Cette instruction sera affichée dans l'enceinte des ateliers.

Art. IX. Notre ministre secrétaire d'état au

département de l'intérieur est chargé de l'exécution de la présente ordonnance, qui sera insérée au Bulletin des lois.

Donné en notre château, etc.

PREMIÈRE INSTRUCTION

Sur les mesures de précaution habituelles à observer dans l'emploi des machines à vapeur à haute pression.

L'emploi des machines à vapeur à haute pression exige des précautions de tous les instants de la part des ouvriers chauffeurs auxquels leur service est confié, et une surveillance constante de la part des propriétaires de ces machines. En négligeant les précautions nécessaires, les ouvriers peuvent occasioner des accidents funestes, dont ils seraient les premières victimes. En se relâchant de la surveillance qui est indispensable, les propriétaires deviendraient la cause indirecte de ces accidents; ils s'exposeraient d'ailleurs à des pertes considérables, telles que celles qui résulteraient de la destruction des machines, de la dégradation des ateliers et de la cessation des travaux.

Il est du devoir de tout propriétaire de ne confier la conduite de sa machine qu'à un ouvrier dont l'intelligence et la capacité soient bien reconnues, et qui soit non seulement attentif, actif, propre

et sobre, mais encore exempt de tout défaut qui pourrait nuire à la régularité du service. Rien ne doit déranger cette régularité, rien ne doit troubler ou détourner l'attention de l'ouvrier pendant le travail : autrement il ne peut y avoir de sécurité dans l'établissement.

L'attention de l'ouvrier chauffeur et la surveillance du propriétaire doivent porter principalement sur les parties suivantes de la machine, savoir, le foyer, la chaudière et les tubes bouilleurs, la pompe alimentaire et le niveau de l'eau dans la chaudière, les soupapes de sûreté, le manomètre. Il y a aussi quelques précautions à prendre relativement à l'enceinte extérieure.

Du foyer.

Le principe d'après lequel on doit diriger le chauffage est d'éviter une augmentation de chaleur trop brusque ou un refroidissement trop rapide. Dans l'un et l'autre cas, les tubes bouilleurs éprouvent partiellement des inégalités de température plus ou moins considérables, et qui, à raison de la variété des dilatations produites, peuvent occasioner des fêlures et des pertes.

Ainsi donc la mise au feu ne doit pas être poussée avec trop de vivacité, surtout lorsque le foyer a été tout-à-fait refroidi. On ne gagnerait du temps qu'en compromettant la conservation des tubes bouilleurs.

Lorsque le feu est arrivé au point d'activité nécessaire pour le jeu de la machine, on doit le conduire avec égalité, et, à cet effet, tiser à propos,

et ne jeter que les quantités de combustible déterminées par l'expérience. Il faut éviter de laisser tomber le feu pendant le travail, et lorsque cela est arrivé, il n'est point convenable de projeter à la fois une trop grande quantité de combustible dans le foyer : car cette précipitation, qui aurait l'inconvénient de le refroidir momentanément, occasionerait ensuite un développement de chaleur excessif et dangereux.

Il est à propos d'exécuter dans le moindre temps possible les opérations du tisage et du rechargement de combustible, afin d'abréger l'action destructive que l'air froid peut exercer sur les tubes bouilleurs, en s'introduisant avec rapidité par l'ouverture de la porte du foyer.

On est dispensé de la plupart de ces précautions lorsque le foyer est muni d'un distributeur mécanique versant la houille au feu, et à mesure qu'elle est nécessaire ; mais alors l'ouvrier doit veiller à ce que ce distributeur ne manque pas d'aliment, et à ce que le versement soit uniforme et continu.

L'extinction du feu, lorsqu'elle n'est point conduite avec soin, est une des causes les plus ordinaires des accidents qui arrivent aux tubes bouilleurs. Le meilleur mode est de laisser le foyer chargé du résidu de la combustion, de fermer le registre de la cheminée ainsi que la porte du cendrier, et de luter avec un peu de terre grasse les joints de cette porte et ceux de la porte du foyer. En procédant ainsi, on évite non seulement que l'air ne refroidisse trop brusquement les tubes, mais encore qu'il ne contribue à oxyder trop promptement leur surface extérieure. On profite, de

plus, d'une partie du résidu de la combustion : car ce résidu finit par s'éteindre, à raison du défaut d'air, et l'on peut ensuite le retirer sans inconvénient.

Des tubes bouilleurs et de la chaudière.

Quelque pure que paraisse l'eau qu'on emploie, elle dépose toujours un sédiment terreux qu'il importe de ne pas laisser accumuler. En effet, ce sédiment se durcirait et s'épaissirait en peu de temps ; il augmenterait la difficulté de faire pénétrer dans les tubes bouilleurs et dans la chaudière la chaleur qui est nécessaire pour produire la vapeur avec le degré de tension convenable ; il faudrait faire un plus grand feu : il en résulterait par conséquent plus de dépense de combustible et plus de chances d'altération ou de rupture.

L'expérience a démontré qu'en introduisant dans les tubes bouilleurs et dans la chaudière une certaine quantité de pommes de terre, la substance de ces pommes de terre se mêle avec les sédiments terreux, sous forme de bouillie, et en prévient l'endurcissement ; mais à mesure que les sédiments augmentent, cette bouillie nuit à la production de la vapeur, soit par sa viscosité, soit par l'espace qu'elle occupe. Il vient un terme où l'enlèvement des dépôts devient indispensable : ce terme arrive plus ou moins fréquemment suivant la nature des eaux. C'est au propriétaire de chaque machine à chercher, par l'expérience, la période de temps la plus convenable pour le nettoyage, comme aussi de trouver le *minimum* de la quantité de pommes

de-terre qui doit être employé. Ces recherches ne tiennent pas seulement aux soins de la sûreté, mais encore à des considérations d'économie relativement à la facile production de la vapeur.

Lorsque, malgré toutes les précautions, un tube bouilleur vient à se fendre, l'ouvrier doit en avertir le propriétaire, et celui-ci ne doit pas hésiter à faire procéder au remplacement. Le rhabillage du tube ne ferait que masquer l'inconvénient, et le danger d'une rupture pourrait s'accroître en très peu de temps.

Le propriétaire et l'ouvrier doivent observer avec attention les progrès de la détérioration superficielle que les tubes bouilleurs éprouvent à la longue, ceux surtout qui sont frabriqués en tôle. Ils ne doivent pas attendre la visite de l'ingénieur pour provoquer de nouvelles épreuves de ces tubes, lorsque leur amincissement peut donner des doutes sur leur solidité.

Il en est de même des chaudières; mais comme les moyens d'observation sont moins multipliés, l'ouvrier et le propriétaire doivent saisir toutes les occasions de constater l'état des choses, soit lorsqu'il faut changer un ou plusieurs tubes bouilleurs, soit lorsqu'il y a des réparations à faire au foyer ou à la chemise de la chaudière, soit enfin toutes les fois qu'il est nécessaire de vider la chaudière pour la nettoyer; mais, en outre, aucune des indications que les moindres suintements peuvent donner ne doit être négligée.

Lorsqu'on s'aperçoit d'une fuite à la jointure du plateau qui ferme un tube bouilleur ou à celui qui recouvre l'entrée de la chaudière, on ne doit point

essayer d'y pourvoir pendant le travail en serrant les écrous : on courrait le risque d'occasioner la rupture de ces plateaux, surtout lorsque le mastic qui garnit les bordures a eu le temps de s'endurcir; en cas de rupture, l'ouvrier serait tué par les éclats ou brûlé par l'eau de la vapeur. Ces sortes de fuites ne doivent être réparées que lorsque le travail a cessé.

Lorsque les tubes bouilleurs et la chaudière sont à nettoyer, les propriétaires ne doivent pas exiger que les ouvriers entreprennent de vider l'eau avant que sa température ne soit suffisamment abaissée, surtout pour les machines dans lesquelles les plateaux des tubes bouilleurs ne sont point garnis de robinets.

De la pompe alimentaire et du niveau de l'eau dans la chaudière.

Il est de la plus grande importance que l'eau de la chaudière soit maintenue au niveau qui est indiqué par la position horizontale du levier mû par le flotteur. Il ne faut pas que l'ouvrier s'en rapporte à la simple inspection du levier pour connaître la hauteur de l'eau dans la chaudière : il doit s'assurer très souvent que les mouvements du flotteur sont parfaitement libres. Il doit veiller surtout à ce que la garniture qui empêche la vapeur de s'échapper le long de la tige du flotteur ne serre pas trop cette tige : car, si cela arrivait, les indications données par le flotteur cesseraient d'être exactes.

Ces dernières précautions sont également néces-

saires pour les machines dans lesquelles les mouvements d'abaissement du flotteur font ouvrir le tuyau nourricier, et portent ainsi le remède convenable à la diminution de l'eau dans la chaudière.

La surveillance de la pompe alimentaire n'est pas moins indispensable. Si, par suite de négligence, la hauteur de l'eau avait très notablement diminué dans la chaudière, il faudrait, aussitôt qu'on s'en apercevrait, rétablir ou augmenter peu à peu le jet nourricier, car autrement on s'exposerait à des accidents. En effet, l'eau, en s'élevant rapidement contre les parois de la chaudière, que la chaleur aurait rougies, fournirait instantanément une trop grande quantité de vapeur, et il serait possible que l'accroissement de pression qui en résulterait fût supérieur à la pression que la chaudière pourrait supporter. Le danger de l'explosion serait imminent si, dans une telle circonstance, les soupapes de sûreté n'étaient point en état de jouer librement, ou si, par suite d'une pratique imprudente ou coupable, elles se trouvaient surchargées de poids.

En général, le moindre inconvénient que le manque d'eau dans les chaudières puisse produire, c'est d'y occasioner des ruptures très préjudiciables, quand bien même il n'y aurait pas d'explosion.

Des soupapes de sûreté.

Dans les machines dont les soupapes de sûreté sont à la disposition de l'ouvrier chauffeur, il est utile que cet ouvrier s'applique à en étudier le

jeu, et à bien connaître le degré d'adhérence qu'elles contractent ordinairement avec le collet sur lequel elles pressent, surtout lorsqu'elles ont été rodées récemment. Il faudrait avoir égard à cette adhérence, lors même que la soupape serait construite de telle manière que le plan de contact serait réduit à une zone circulaire très étroite. Le chauffeur doit s'assurer très fréquemment que les soupapes jouissent de toute la liberté de mouvement dont elles ont besoin pour remplir leur destination. A cet effet, il est bon qu'il soulève de temps en temps l'extrémité de la branche du levier qui supporte le poids servant de charge habituelle, afin de s'assurer que la soupape n'a pas contracté une trop forte adhérence.

Lorsque les soupapes d'une machine ne jouent pas librement, et lorsqu'en même temps on vient à leur donner le *maximum* de charge habituelle, elles ne peuvent remplir leur objet qu'imparfaitement; elles retiennent la vapeur alors qu'elles devraient lui donner issue; la vapeur s'accumule et se comprime, et pourrait, suivant les circonstances, acquérir une force de tension qui surpasserait la résistance que la chaudière est capable d'opposer, et qui la ferait éclater.

Ce funeste effet pourrait encore être produit, si, dans l'intention de donner plus d'activité à la machine, on avait ajouté des poids à ceux qui composent le *maximum* de la charge habituelle des soupapes. De telles surcharges sont extrêmement dangereuses; l'ignorance du danger pourrait seule excuser les propriétaires de les ordonner, et l'ouvrier chauffeur de s'y prêter. Il faut que les ou-

vriers sachent bien que l'un des principaux effets d'une explosion serait d'épancher une immense quantité de vapeur brûlante, qui lui causerait une mort cruelle.

De tels dangers seront beaucoup moins à craindre dans les machines qui seront établies en vertu de l'ordonnance royale du 29 octobre 1823; mais les soupapes n'en devront pas moins être surveillées et entretenues dans un état de liberté parfaite. En effet, pour peu que le jeu devînt moins facile, il arriverait qu'à la moindre augmentation dans l'activité du feu, la vapeur, au lieu de s'échapper, acquerrait plus de chaleur et de tension, et il y aurait un terme où elle fondrait et romprait les rondelles de métal fusibles qui devront être appliquées à chaque chaudière; le travail de l'atelier serait interrompu, et le propriétaire encourrait les inconvénients des retards résultant de la pose de nouvelles rondelles. Le propriétaire est particulièrement intéressé à visiter journellement la soupape qui sera renfermée sous le grillage en fer, dont la clef devra rester à sa disposition.

En général, les soupapes ont besoin d'être rodées très fréquemment : autrement elles finissent par laisser perdre de la vapeur. Ce soin d'entretien n'admet pas de négligence, car l'ouvrier ne pourrait y suppléer qu'en augmentant la charge habituelle. Or les propriétaires ne sauraient proscrire les surcharges avec trop de rigueur.

Lorsqu'on veut cesser tout-à-fait le feu, ou lorsqu'on le couvre seulement pour en retrouver le lendemain, il ne faut pas quitter l'atelier sans s'être assuré que les soupapes, convenablement déchar-

gées, peuvent donner librement issue à la vapeur qui continue à se produire.

Du manomètre.

Le manomètre, à raison de sa communication avec l'intérieur de la chaudière, indique, à chaque instant, la marche plus ou moins rapide de la production de la vapeur, et le degré de la force de pression qui en résulte. Cette indication est donnée par le mouvement de la colonne de mercure renfermée dans le tube de verre ; elle se mesure au moyen de l'échelle qui est placée le long du tube.

Cet instrument est d'une grande utilité lorsqu'il a été construit avec soin et gradué avec exactitude. Comme il est fragile, les propriétaires de machines doivent prendre les mesures nécessaires pour le préserver de tout accident, et le faire couvrir d'un grillage en fil de fer ou en fil de laiton.

Le propriétaire doit aussi donner ses soins pour que l'ouvrier comprenne la destination et les avantages de l'instrument, et sache à propos tirer parti de ses indications.

Enfin, il est du devoir de l'ouvrier de consulter très fréquemment le manomètre, et de le prendre constamment pour guide dans la conduite du feu, quelle que soit d'ailleurs la charge, ou, en d'autres termes, la pression avec laquelle la machine travaille, suivant les besoins de l'atelier.

De l'enceinte de la machine.

En supposant qu'une explosion pût arriver, c'est

un moyen de la rendre moins dommageable que de tenir le local de la machine complétement isolé, et de ne placer les matériaux qu'on serait forcé d'emmagasiner dans son voisinage qu'à la distance de plusieurs mètres. Le propriétaire se mettrait en contravention avec l'article 6 de l'ordonnance royale du 29 octobre 1823 s'il venait à remplir avec des matériaux résistants l'espace qu'il faut laisser, du côté des habitations, entre les murs mitoyens et le mur de défense qui doit enceindre le local de la machine. Ce mur de défense ne peut remplir l'objet que l'ordonnance royale a eu en vue qu'autant qu'il confine au dehors avec un espace vide.

Enfin, il est indispensable que le local de la machine puisse être bien fermé, et qu'en l'absence du chauffeur, personne ne puisse s'y introduire. On conçoit, par exemple, que, si, par malveillance, on venait à surcharger les soupapes ou à les bander avec des cales, lorsque le feu a été arrêté ou couvert, l'accumulation de la vapeur pourrait occasioner un accident. Les précautions habituelles que ce cas particulier peut exiger sont tout aussi importantes que celles qui concernent les différents cas qui ont été précédemment exposés. La prévoyance des propriétaires des machines et la vigilance des ouvriers chauffeurs ne doivent être en défaut dans aucun temps, dans aucune circonstance.

SECONDE INSTRUCTION

Relative à l'exécution de l'ordonnance royale du 29 octobre 1823, sur les machines à vapeur ou sur celles dans lesquelles la force élastique de la vapeur fait équilibre à plus de deux atmosphères, lors même qu'elles brûleraient complétement leur fumée.

L'ordonnance royale du 29 octobre 1823 a statué qu'à l'avenir aucune chaudière de machine à vapeur à haute pression ne pourrait être mise dans le commerce (et à plus forte raison employée) qu'autant qu'elle serait munie de deux soupapes et de deux rondelles de métal fusible, et qu'après avoir été éprouvée à l'aide d'une presse hydraulique et timbrée après l'épreuve.

Le fabricant de chaudières et de machines à haute pression qui aura des chaudières à faire vérifier, éprouver et timbrer, adressera une demande au préfet, qui la transmettra immédiatement à l'ingénieur des mines, s'il réside dans le département; et, dans le cas contraire, à l'ingénieur des ponts et chaussées, qui doit le suppléer. (*Art.* 7 *de l'ordonnance.*)

Le préfet veillera à ce que les opérations se fassent dans le plus court délai possible, afin qu'il

n'en puisse résulter aucun inconvénient pour les besoins du commerce et de l'industrie.

L'ingénieur vérifiera d'abord si les dimensions des deux soupapes sont telles que le jeu de l'une d'elles puisse suffire au dégagement de la vapeur, dans le cas où la vapeur acquerrait une trop grande tension.

Il vérifiera de même si les orifices dans lesquelles les deux rondelles de métal fusible devront être encastrées ont les diamètres convenables, savoir :

Pour la première, un diamètre au moins égal à celui de l'une des deux sonpapes ;

Pour la seconde, un diamètre double.

Il reconnaîtra en même temps si la position de ces orifices est telle que les rondelles puissent remplir leur destination.

L'épreuve de la chaudière n'aura lieu qu'après l'ajustement des deux rondelles. Cet ajustement sera précédé des opérations suivantes :

L'ingénieur déterminera, d'après la table ci-jointe, le degré de fusibilité du métal dont chaque rondelle devra être faite. Il vérifiera ensuite si le métal dont on se propose de fabriquer chaque rondelle est doué de la fusibilité requise. Cette vérification pourra avoir lieu de deux manières :

1° Si le métal a été préparé par le fabricant de chaudières ou de machines, l'ingénieur procédera à l'essai des deux espèces de lingots qui devront fournir la matière des rondelles, en employant le mécanisme dont le fabricant fait lui-même usage, mais après en avoir vérifié l'exactitude ;

2° Si le fabricant de chaudières ou de machines veut employer du métal fusible acheté dans le com-

merce, l'ingénieur n'aura qu'à constater si les deux lingots portent le timbre légal annonçant le degré de leur fusibilité, c'est-à-dire si chacun d'eux est marqué du timbre qui a dû y être apposé par l'ingénieur des mines commis pour faire ces sortes d'essais dans la manufacture même du métal fusible; ce timbre sera le même que celui dont il est parlé dans le paragraphe ci-dessous.

L'ingénieur, ayant acquis la certitude que les lingots sont composés, l'un de métal fondant à 10 degrés centigrades au-dessus de la température que la vapeur aura habituellement dans la chaudière, et l'autre de métal fondant à 20 degrés centigrades au-dessus de la même température, fera couler en sa présence les deux rondelles, et il apposera à chacune d'elles un timbre octogone portant la légende *Ponts et chaussées et Mines*, au milieu de l'empreinte duquel il fera immédiatement graver, sous ses yeux, le degré de fusibilité des rondelles.

Les rondelles seront ensuite ajustées à la chaudière.

Dans le cas où le fabricant de machines se serait procuré des rondelles toutes faites, et qui auraient déjà été essayées et timbrées dans le lieu de leur fabrication, l'ingénieur n'aura d'autre soin à prendre que de vérifier les timbres indiquant les températures, avant que les rondelles soient ajustées à la chaudière (1).

En général, dans la vérification du degré de fu-

(1) Les fabricants trouveront du métal fusible, pour toutes les températures requises, préparé d'après les indica-

sibilité du métal fusible, il faudra que l'ingénieur fasse attention qu'il ne s'agit pas de constater le degré où le métal devient parfaitement fluide, mais celui auquel le métal se ramollit assez pour céder à la pression de la vapeur. Cette distinction est importante, car les plaques de métal fusible sont susceptibles de perdre leur ténacité un peu avant d'arriver à la température qui détermine leur fusion parfaite. Le timbre doit, par conséquent, exprimer non pas le degré de fusion parfaite, mais celui qui ramollit le métal d'une quantité suffisante pour rendre la plaque susceptible de s'ouvrir par la pression qu'elle éprouve sous cette température.

La chaudière, étant munie de ses tubes bouilleurs, de ses rondelles et de ses soupapes convenablement surchargées de poids, sera remplie d'eau, et on l'éprouvera à l'aide d'une presse hydraulique ou pompe de pression, qui sera fournie par le fabricant, avec la main-d'œuvre nécessaire à son emploi.

La pression exercée devra être cinq fois plus forte que celle que la chaudière est destinée à supporter dans l'exercice habituel de la machine dont elle fera partie; c'est-à-dire, par exemple, que, si la chaudière est destinée à travailler à deux atmosphères, la pression d'épreuve sera portée à dix atmosphères.

Lorsque la chaudière aura résisté à cette épreuve, l'ingénieur y fera apposer, en sa présence, le tim-

tions de M. Gay-Lussac, membre de l'Académie royale des sciences, chez M. Collardeau, rue de la Cerisaie, n° 3, à Paris.

bre qui indiquera la pression à laquelle la machine devra habituellement travailler, exprimée en atmosphères.

Ce timbre consistera 1° en une plaque de cuivre circulaire frappée à la monnaie de Paris, portant en légende *Ordonnance du* 29 *octobre* 1823, et sur laquelle le nombre d'atmosphères et de demi-atmosphères sera marqué; 2° en trois vis de même métal, destinées à assujettir la plaque sur le corps de la chandière au moyen de trous taraudés. Lorsque les vis auront été complétement enfoncées, l'ingénieur fera araser la tête de chaque vis à fleur de la plaque, de manière à faire disparaître la fente de cette tête. Il formera ensuite une empreinte sur la tête de chaque vis à l'aide d'un poinçon à fleur-de-lis ayant un diamètre plus grand que celui de cette tête.

La plaque et les vis en cuivre seront fournies par le fabricant (1).

Au moyen des dispositions qui précèdent, toutes les chaudières des machines à haute pression seront essayées au lieu même de leur fabrication, ce qui concentrera les épreuves dans un petit nombre de départements.

S'il n'existe point de fabrique de chaudières dans le département, les opérations de l'ingénieur, à l'égard des chaudières qu'on y introduira pour le service soit de machines à haute pression déjà permissionnées, soit de machines nouvelles et à

(1) Les fabricants pourront s'en procurer de toute espèce, et au prix de la main-d'œuvre, à la Monnaie royale des médailles, rue Guénégaud, n° 8, à Paris.

permissionner, consisteront à vérifier les deux espèces de timbres que ces chaudières devront porter. Ces vérifications se feront aisément au moyen de *clichés*.

Un exemplaire de ces clichés est déposé aux archives de la préfecture, un autre au bureau de l'ingénieur des mines, ou, à son défaut, au bureau de l'ingénieur des ponts et chaussées.

Table (1) *des forces élastiques de la vapeur d'eau à différentes températures.*

ÉLASTICITÉ de la vapeur en prenant la pression de l'atmosphère pour unité.	HAUTEUR de la col. de mercure qui mesure l'élasticité de la vapeur.	TEMPÉRATURE correspondante sur le thermomètre centigrade.	PRFSSION exercée par la vapeur sur un centimèt. carré de la scupape.
Atmosphères.	Mètres.	Degrés.	Kilogrammes.
1	0,76	100	1,063
1 1/2	1,14	112,2	1,549
2	1,52	122	2,066
2 1/2	1,90	129	2,582
3	2,28	135	3,099
3 1/2	2,66	140,7	3,615
4	3,04	145,2	4,132
4 1/2	3,42	150	4,648
5	3,80	154	5,165
5 1,2	4,18	158	6,681
6	4,56	161,5	6,198
6 1/2	4,94	164,7	6,714
7	5,32	168	7,231
7 1/2	5,70	170,7	7,747
8	6,08	173	8,264

(1) Cette table a été dressée par l'Académie royale des sciences.

ARIF des Machines à vapeur, installées à ter
construites dans les ateliers de Manby Wilson *à C*
renton, et Aitken *et* Steel *à la Gare.*

FORCE en CHE-VAUX.	SYSTÈME de WATT, basse pression, double effet. (Manby.)	SYSTÈME de WATT et BOLTON. (Aitken.)	SYSTÈME AITKEN et STEEL.	SYSTÈME WOOLFE comme HALL et PERRIER.	SYSTÈ TRE-VITHIC dite haute pressio
	fois.	fois.	fois.	fois.	fois.
2ch.		7,300	12,000	8,500	6,60
4	10,000	9,500	15,000	12,000	8,80
6	13,000	12,000	19,000	14,100	11,50
8	16,000	15,500	23,900	18,000	14,30
10	20,000	19,500	28,600	22,000	17,00
20	35,000	34,500	47,600	38,000	30,00
30	«	47,000	59,800	52,000	44,00
40	62,000	61,500	78,500	66,000	57,70
50	76,000	74,000	87,400	74,000	69,80
60	«	82,500	97,900	82,500	79,20
80	«	100,500	118,800	102,000	98,40
100	«	119,000	138,600	120,000	118,00
120	«	129,000	149,600	130,000	127,000

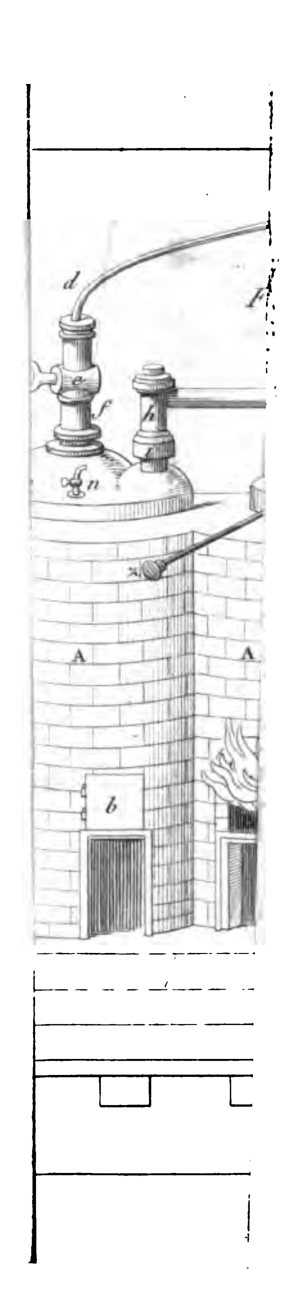
La consommation du charbon dans les machines des quatre derni colonnes est garantie, savoir :

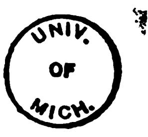
Pour une machine d'Aitken et Steel de la force de 2, 4, 6, 8 et chevaux ; 6, 10, 15, 20 et 25 kil. par heure.

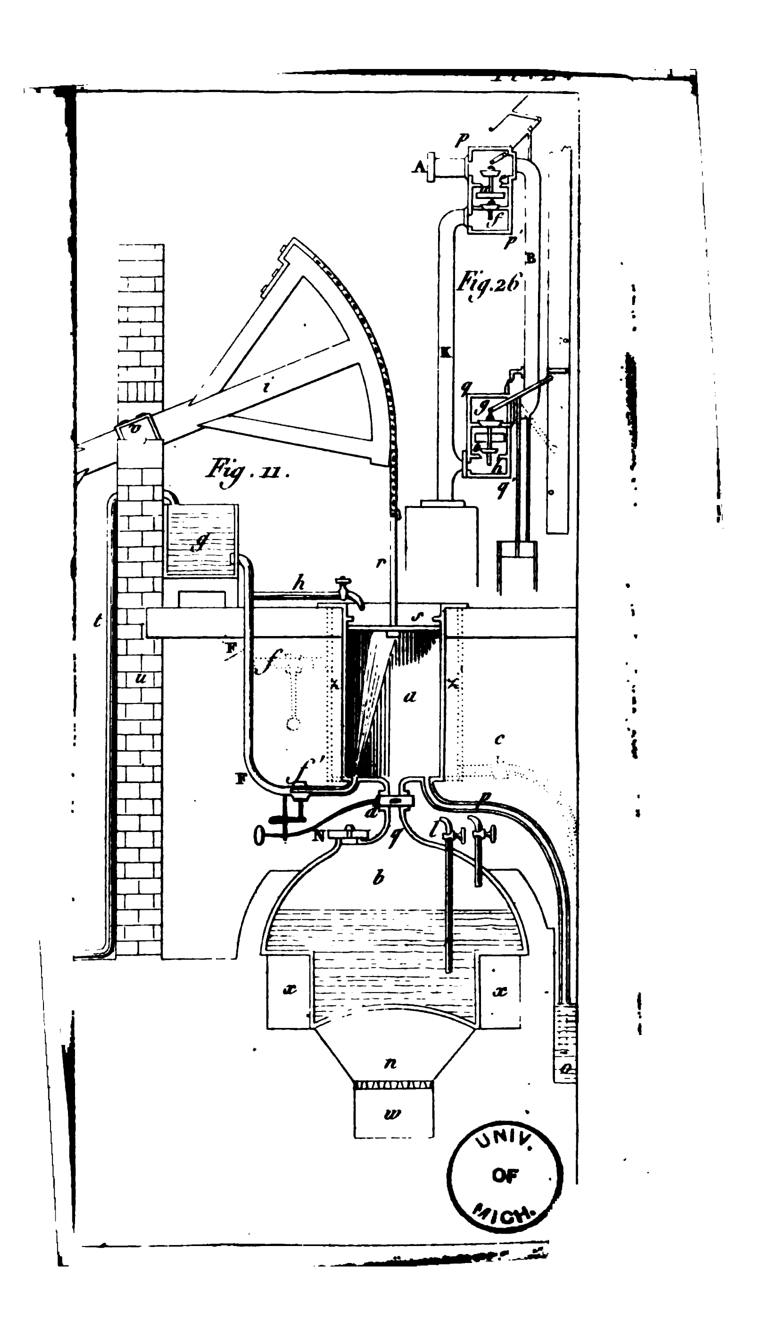
Pour une machine de Woolfe, force de 2, 4, 6, 8, 10 chevaux ; 16, 21, 28, 34 kilog., même espace de temps.

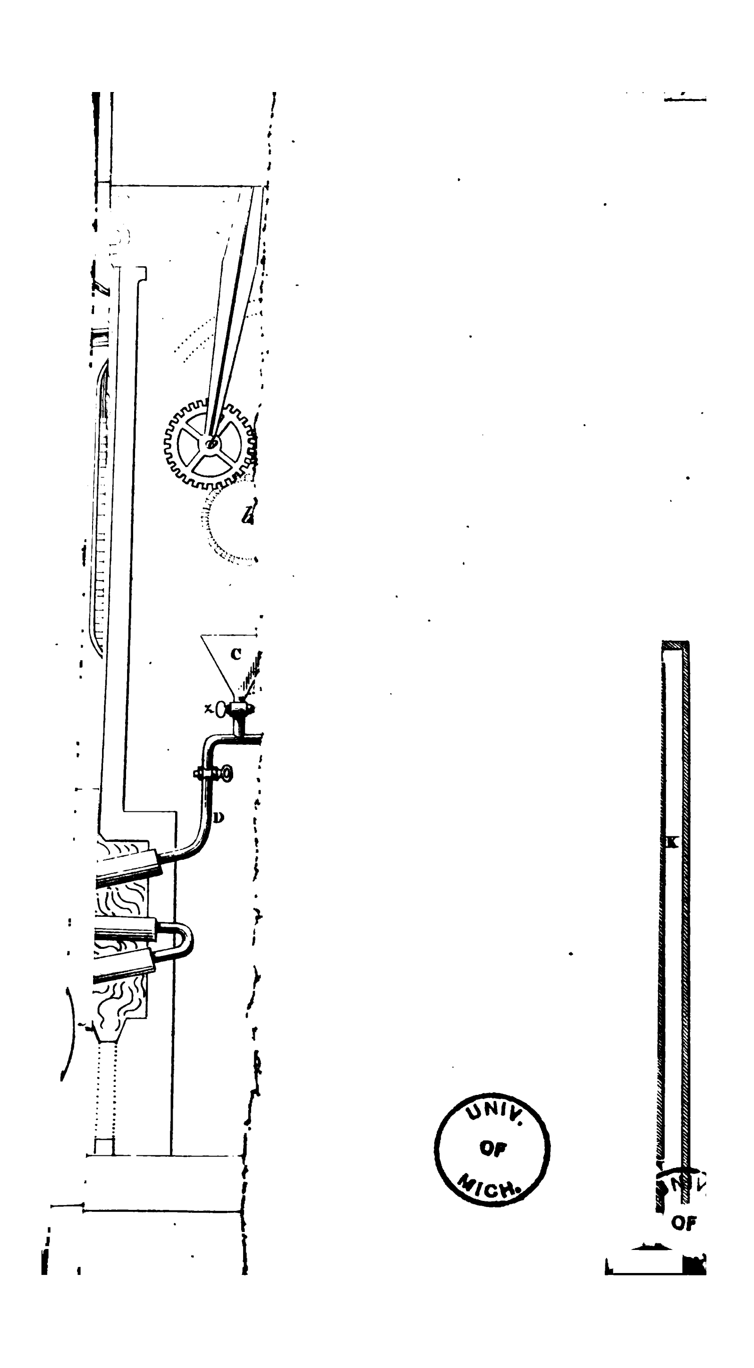
Les machines de Watt et Trevithick, force de 2, 4, 6, 8, 10 chev 14, 27, 36, 46, 56 kilog.

La proportion d'accroissement, pour les machines plus puiss suit, à peu de choses près, la même loi.


d
e
f
h
n
A
A
b




Fig. 11.
Fig. 26


C
x
D
K

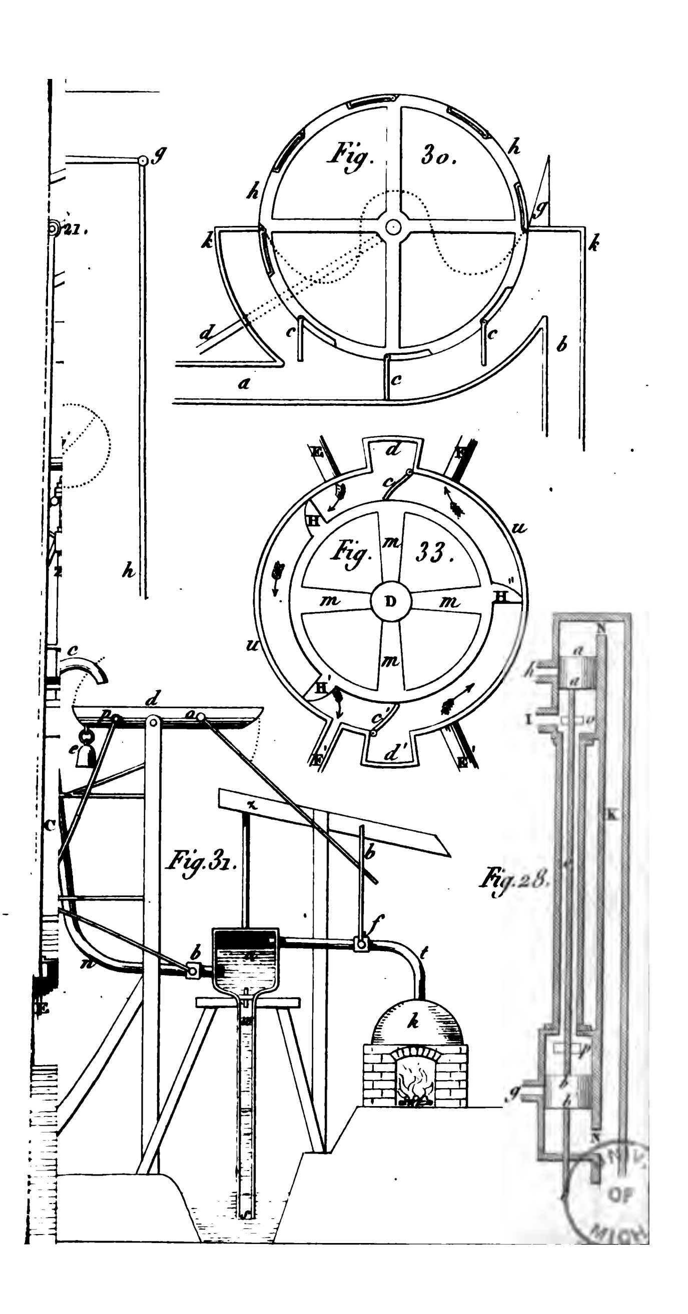
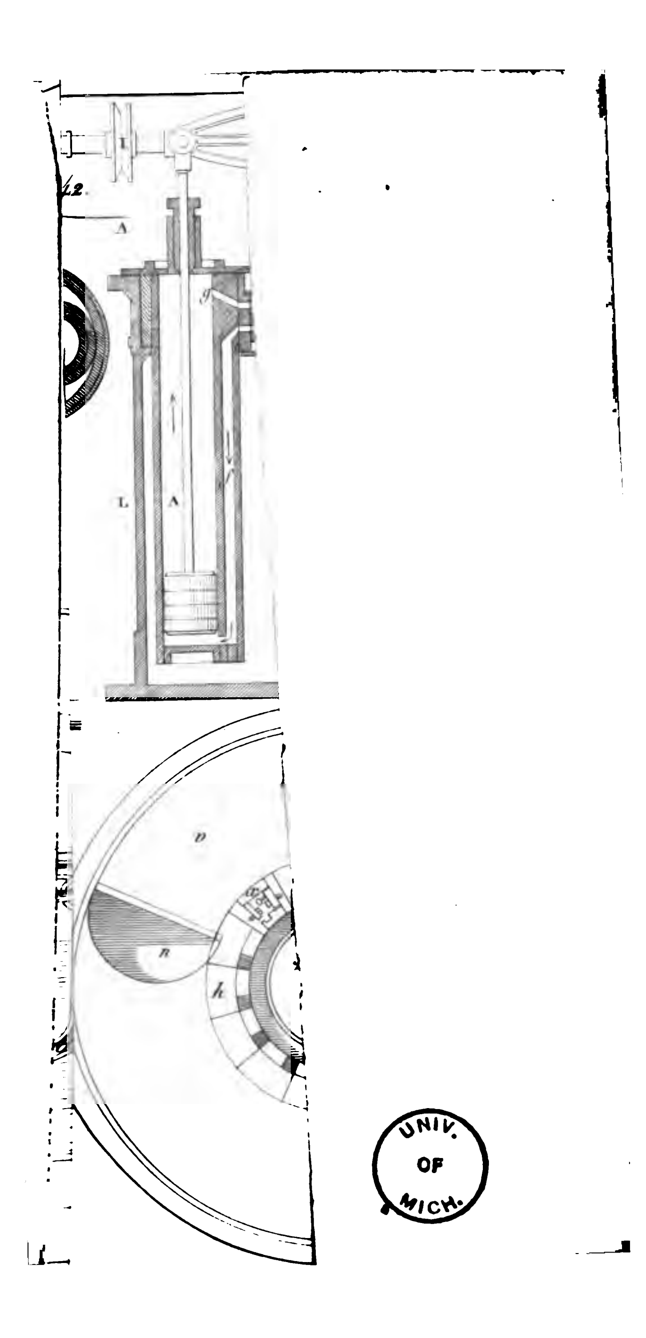


Fig. 30.
Fig. 33.
Fig. 31.
Fig. 28.



I
l.2.
A
g
L
A
D
n
h

